

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Liberec 2011**

**JITKA JUŘIČKOVÁ**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

**MĚŘENÍ TEPLOTNÍCH POLÍ  
U SPORTOVNÍCH ODĚVŮ**

***MEASUREMENT  
OF TEMPERATURE FIELDS  
FOR SPORTS CLOTHING***

**Liberec 2011**

**JITKA JUŘIČKOVÁ**

**BP: KOD - 07**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta textilní**

Akademický rok: **2010/2011**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	<b>JITKA JUŘIČKOVÁ</b>
Osobní číslo:	<b>T08000255</b>
Studijní program:	<b>B3107 Textil</b>
Studijní obor:	<b>Technologie a řízení oděvní výroby</b>
Název tématu:	<b>Měření teplotních polí u sportovních oděvů</b>
Zadávací katedra:	<b>Katedra oděvnictví</b>

### **Zásady pro vypracování:**

1. Proved'te rešerši o fyziologických vlastnostech oděvů.
2. Analyzujte možnosti měření teplot a teplotních polí u sportovních oděvů, zejména možnosti měření pomocí termovize.
3. Proved'te měření teplotních polí oděvů při definované zátěži.
4. Vyhodnot'te měření.

**Studijní program:** B3107 Textil  
**Studijní obor:** Technologie a řízení oděvní výroby  
**Autor:** Jitka Juříčková  
**Vedoucí BP:** doc. Ing. Antonín Havelka CSc.

**Počet stran:** 70

**Počet obrázků:** 34

**Počet tabulek:** 7

**Počet grafů:** 1

**Počet vzorců:** 7

**Počet příloh:** 1

## **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Antonínu Havelkovi CSc. a panu Ing. Rudolfovi Třešňákovi za odbornou pomoc a konzultace k této práci. Dále bych chtěla poděkovat své kamarádce Karolíně Rojkové za pomoc při experimentu. V neposlední řadě patří můj dík mým rodičům, prarodičům a přátelům za psychickou a finanční podporu po dobu mého dosavadního studia.

## **Anotace**

Rešeršní část obsahuje teoretické informace z oblasti měření teploty a teplotních polí, fyziologické vlastnosti oděvů a definice termoregulace lidského těla. Dále je zde popsána termovize Fluke TI25. Experimentální část se zabývá snímáním teplotních polí u sportovních oděvů pomocí termovize Fluke. V této kapitole je uvedené srovnání a vyhodnocení čtyř porovnávaných vzorků.

## **Klíčová slova**

Teplotní pole u sportovních oděvů, termovize Fluke TI25, termoregulace lidského těla.

## **Annotation**

The search section contains theoretical information from the temperature measurement and temperature, the physiological properties of clothing and the definition of human body thermoregulation. There is also described thermography Fluke Ti25. The experimental part deals with the sensing of temperature fields in sports clothing with thermography Fluke. In this chapter the comparison and evaluation of four compared samples.

## **Key words**

Temperature field at the sporting apparel, thermovision Fluke Ti25, thermal regulation of the human body.

## **Místopřísežné prohlášení**

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci, jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce.

V Liberci dne 1.5.2011

## Obsah

1	Úvod.....	10
2	REŠERŽNÍ ČÁST .....	11
2.1	Fyziologické vlastnosti oděvů .....	11
2.1.1	Komfort oděvních výrobků .....	11
2.2	Termoregulace lidského organismu .....	14
2.2.1	Přenos tepla mezi organismem a okolím.....	15
2.3	Pocení lidského těla .....	18
2.3.1	Odvod vlhkosti z povrchu lidského těla .....	19
2.3.2	Pocení lidského těla při sportu .....	21
2.4	Měření teplotních polí .....	22
2.4.1	Měření teploty .....	22
2.4.2	Teplotní stupnice .....	23
2.4.3	Rozdělení teploměrů .....	23
2.4.4	Pohltivost, prostupnost, odraznost, emisivita.....	26
2.4.5	Černé těleso .....	28
2.4.6	Základní veličiny bezdotykového měření .....	29
2.4.7	Senzory snímající tepelné záření.....	29
2.4.8	Zaměření objektu infračerveným teploměrem .....	30
2.5	Bezdotykové teploměry .....	31
2.5.1	Přímo měřící bezdotykové teploměry .....	31
2.5.2	Zobrazovací bezdotykové teploměry .....	32
2.5.3	Termovize.....	32
2.5.4	Nejistoty a chyby bezdotykového měření teploty .....	34
2.6	Termovize Fluke TI 25 .....	36
2.7	Technická data .....	37
2.8	Návod na použití.....	37
3	Experimentální část.....	40
3.1	Popis vzorků .....	40
3.2	Průběh měření.....	41
3.3	Výsledky měření.....	43
3.4	Vyhodnocení.....	46
3.5	Závěr experimentální části.....	47
4	Závěr .....	48



5	Použitá literatura .....	49
6	Seznam obrázků .....	50
7	Seznam tabulek .....	51
8	Seznam vzorců .....	51
9	Seznam grafů .....	51
10	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	52

# 1 Úvod

Tématem této bakalářské práce je měření teplotních polí u sportovních oděvů. Jelikož je v dnešní době sport životním stylem, rozhodla jsem se v experimentální části vyhodnotit funkčnost čtyř sportovních tílek, která jsou běžně k dostání na našem trhu.

V teoretické části jsem se zaměřila na možnosti dotykového a bezdotykového měření teploty, fyziologické vlastnosti oděvů a na termoregulaci lidského těla. V poslední kapitole teoretické části je popsána termovize Fluke TI 25.

Za cíl experimentální části jsem si zvolila vyhodnocení funkčnosti čtyř sportovních tílek. Vyhodnocení bude prováděno pomocí termosnímků pořízených termokamerou Fluke. Snímky budou pořizovány v klimatizované potměné laboratoři. Experiment bude proveden na rotopedu na němž probantka pošlape stále stejnou rychlostí při střední zátěži. Při snímání teplotních polí jsem se zaměřila na oblast pod prsy, na oblast zad a na snímání holé kůže na hrudníku. Zjištěná data budou zpracována a použita k vyhodnocení nejlepšího materiálového složení a funkčnosti sportovních tílek.

## 2 REŠERŽNÍ ČÁST

### 2.1 Fyziologické vlastnosti oděvů

Základní podmínkou tvorby oděvu je komfort, jak už délkové textilie tak hotového výrobku. Na oděvy jsou kladeny vysoké nároky - mechanické, chemické, meteorologické atd. Oděv by měl osobu, která jej užívá, chránit a zajišťovat jí komfort užívání. Tyto vlastnosti jsou u oděvu zajištěny pomocí vědeckých poznatků. Oděv a jeho fyziologické vlastnosti by měli být vždy přizpůsobeny životní činnosti člověka. Mezi fyziologické vlastnosti oděvů se řadí transportní vlastnosti propustnosti: vodních par, vzduchu, tepla a vody. [1,2]

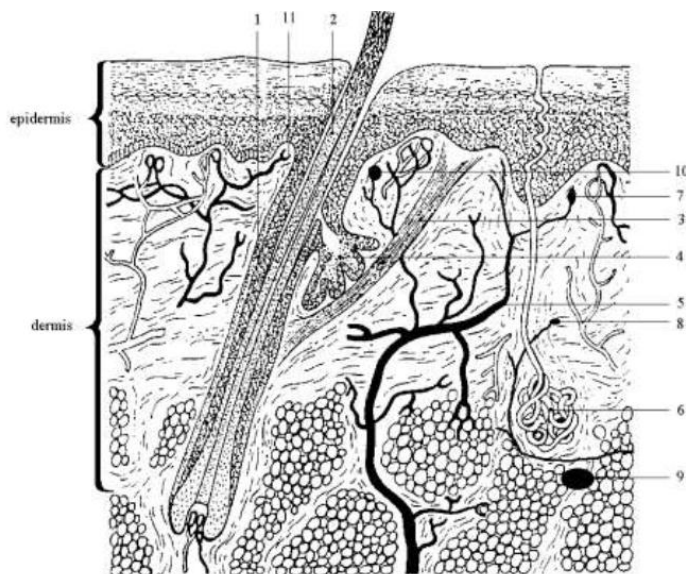
#### 2.1.1 Komfort oděvních výrobků

Komfort oděvního výrobku znamená, že se po fyzické a psychické stránce cítíme v oděvu dobře, vzniká jistá harmonie mezi tělem a okolím. Při užívání oděvu nedochází k žádným nepříjemným vjemům, necítíme ve větší míře chlad či teplo, oděv nás neškrťí a neomezuje v pohybu. Komfort je vnímán všemi lidskými smysli kromě chuti. U oděvu může docházet ke špatnému odvodu par a člověk se potí. Z toho vyplývá, že oděv musí vyhovovat po stránce tepelného komfortu, měl by umožňovat správný prostup vzduchu, vodních par a vlhkosti. Vyhovovat musí také konstrukce oděvu, estetičnost a módnost. Komfort oděvních výrobků lze rozdělit na funkční a psychologický. Psychologický komfort závisí na kulturní a sociální úrovni a vyjadřuje individualitu zákazníka. Tuto složku komfortu tvoří styl, módnost, pohodlnost, barva, konstrukční řešení, tento komfort je hodnocen subjektivně. Funkční komfort zahrnuje fyziologický, senzorický a patofyziologický a termofyziologický komfort. [1,3]

#### Senzorický komfort

Senzorický komfort zahrnuje vjemy a pocity člověka při přímém styku pokožky a první vrstvy oděvu. Lze jej posuzovat ze dvou hledisek – komfort nošení a omak. Komfort nošení je posuzován pomocí struktury použitých povrchových textilií, dle mechanických vlastností, které ovlivňují rozklad tlaků a sil v oděvním systému. Posuzována je i schopnost textilie absorbovat a transportovat plynnou nebo kapalnou vlhkost s dopadem na své kontaktní vlastnosti. Omak je veličina špatně definovatelná, závisí na subjektivních vjemech pomocí prstů a dlaně. Je to vjem, který pociťujeme pomocí podkožních receptorů. Zjednodušeně lze omak vyjádřit jako hladkost, tuhost, objemnost a tepelně kontaktní vjem.

Na obr. 1 je znázorněn řez lidskou pokožkou, na němž jsou vyznačeny snímače pro vnímání pocitu chladu, bolesti a tlaku. V pokožce nejsou senzory pro zaznamenání vlhkosti. Receptory pro zaznamenání tepla či chladu jsou umístěny v pokožce a v centrálním nervovém systému a v cévách vnitřních orgánů. Nejvíce termoreceptorů se nachází v kůži obličeje a na hřbetu ruky, nejméně v kůži zad. Na obrázku vidíme též potní žlázy, které jsou důležité pro vytváření podmínek termofyziologického komfortu. Potní žlázy jsou rozmístěny po celém těle, jejich největší výskyt je na ploškách chodidel a nohou. V podpaží je počet potních žláz stejný jako jinde na těle ovšem jejich průměr je dvojnásobný (0,3 až 0,5 mm). [1]



Obr. 1 - Schematický obrázek lidské kůže

- |                   |  |
|-------------------|--|
| 1 Vlasové pouzdro | 7 Kožní receptory                        |
| 2 Vlas            | 8 Senzory vyšších teplot podle Ruffiniho |
| 3 Hladké svalstvo | 9 Vater-Pacciniho senzory tlaku          |
| 4 Tuková žláza    | 10 Senzory nižších teplot podle Krause   |
| 5 Kožní žíla      | 11 Volné konce nervů                     |
| 6 Potní žláza     |  |

Obr. 1 řez pokožkou [1]

### Patofyziologický komfort

Patofyziologický komfort je ovlivňován působením substancí obsažených v materiálu, které ovlivňují mikroorganismy na lidské pokožce, může dojít k alergiím, proto se využívají stříbrné nanočástice vkládané do výchozího polymeru. [2]

### Termofyziologický komfort

Metabolické postupy v lidském těle udržují stálou lidskou teplotu. Termofyziologický komfort by měl být zajištěn u všech oděvů. Oděv by měl napomáhat tělu při termoregulaci. Jeho konstrukce, střih a použitý materiál by měly umožňovat správný prostup tepla a par.

Termofyziologický komfort lze hodnotit pomocí přístrojů a lze jej charakterizovat pomocí tepelného a výparného odporu, který má vliv na ochlazování těla.

Fyziologické vlastnosti mají velký význam pro hodnocení hygieničnosti oděvu. Pomáhají regulovat mikroklima oděvu, které ovlivňuje pocity člověka. Je důležité, aby osoba nosící oděv pociťovala pohodlí a byla schopna v tomto stavu setrvávat delší dobu a vykonávat různou činnost. Oděv za daných podmínek napomáhá tělu udržovat tepelnou rovnováhu a dodává organismu pocit pohodlí. Fyziologické vlastnosti oděvů se hodnotí pomocí prodyšnosti vzduchu, prostupnosti tepla, tepelné vodivosti, tepelného odporu a propustnosti vody a prostupností vodních par textilií. Subjektivní pocity nositele ovlivňuje mikroklima, které vytváří kolem těla oděv. [1,2,7]

### **Vlhkost vzduchu pod oděvem**

V klidovém stavu je vlhkost vzduchu mezi vrstvou oděvu a pokožkou 35 – 60%. Tato vlhkost může být o něco vyšší než vlhkost okolního vzduchu v důsledku vyšší teploty mezi vrstvou oděvu a pokožkou. Nejdůležitější je dynamika vlhkosti vzduchu pod oděvem, která ovlivňuje schopnost oděvu odvádět pot z povrchu těla do okolního prostředí. Hygienickým nárokům více vyhovuje takový oděv, v jehož prostoru pod oděvem je rychlost narůstání vlhkosti vzduchu nižší.

Vlhkost pokožky je vyjádřena množstvím vyloučené vody – potu, závisí na fyzické námaze a klimatických podmínkách. Odpařování potu způsobuje ochlazení pokožky. Musí fungovat správný odvod vody z pokožky, jinak dochází k hromadění vlhka na pokožce a osoba začíná vnímat pocit mokra. Jestliže v teplém prostředí, v němž jediným způsobem zachování tepelné rovnováhy je sdílení tepla vypařováním, je odvádění vody nedostatečné, organismus se přehřívá a voda se hromadí v oděvu i na kůži těla. V chladném prostředí svědčí zvýšení vlhkosti vzduchu pod oděvem o nepřiměřenosti tepelně izolačních vlastností a o nedostatečné propustnosti vodních par oděvem. V obou případech oděv zvlhne, a tím se zhoršují jeho tepelně-izolační funkce. [2]

### **Teplota vzduchu pod oděvem**

Hodnota teploty pod oděvem je dána účelem použití oděvu. Pro osobu v klidu je optimální teplota v oblasti trupu 32°C, ale pro osobu vykonávající těžkou fyzickou námahu je to teplota 15°C. Pro hodnocení teploty pod oděvem je potřeba přihlížet k individuální fyzické aktivitě jedince.

Do vzduchu mezi oděvem a tělem se neustále dostávají produkty látkové výměny, mezi které zejména patří oxid uhličitý. Větráním se tyto zplodiny odstraňují. Intenzita větrání je závislá na prodyšnosti oděvu a jeho konstrukčním řešení. Obsah oxidu uhličitého pod oděvem překračující 0,8% vyvolává nepříjemné subjektivní pocity, způsobené zhoršením tepelného stavu organismu v důsledku narušení výměny tepla s okolím.

Při fyzické námaze uvolňování oxidu uhličitého roste, proto je důležité, aby celkové řešení a materiálové složení přispívalo k větrání prostoru pod oděvem. [2]

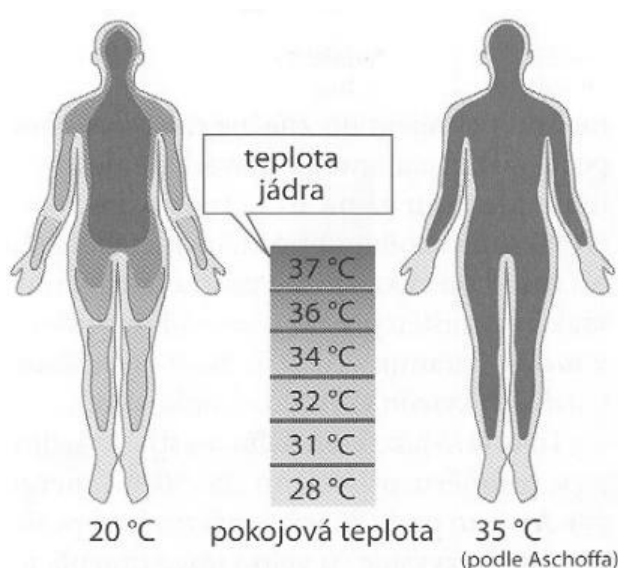
## Hodnocení fyziologického komfortu pod oděvem

Hodnocení oděvů lze provádět v laboratorních podmínkách, kde se zjišťují parametry textilií na zkušebních laboratorních přístrojích. Zkoušky jsou poté vyhodnocovány dle platných norem. Další možností hodnocení oděvů je jejich studování v bioklimatické komoře, kde jsou simulovány různé podmínky okolního prostředí (objektivní + subjektivní způsob hodnocení). [2]

## 2.2 Termoregulace lidského organismu

Termoregulační schopnost organismu udržuje stálou teplotu těla i přesto že výdej a příjem teploty stále kolísá. Kolísání tělesné teploty je způsobeno vnějšími (prostředí) i vnitřními (orgány) vlivy. Termoregulace lidského těla je realizována pomocí lidské kůže.

Tělesná teplota je na různých částech těla odlišná. Kolísá podle působení vnějších vlivů. Nejteplejší části organismu jsou ty nejvíce prokrvené – hlava, prsa, břicho. Nejchladnějšími částmi jsou uši, nos, špičky prstů, ušní lalůčky a vesměs všechny okrajové části těla. Teplota jádra organismu je nejvyšší – 37°C (obr 2). [1]



Obr. 2 teplotní zóny těla [8]

Metabolické postupy udržují v tělesném jádru teplotu kolem 37°C. Vnitřní teplota těla zůstává konstantní, jestliže množství tepla vyprodukovaného tělem je rovno vydanému do okolního prostředí. Vlivem vnějšího prostředí nebo pohybem dochází k ochlazování či zahřívání organismu.

Pokud nedochází k extrémním výkyvům teploty metabolický systém funguje správně. Organismus je tak schopný neomezeně dlouho pracovat a tělo je ve stavu termofyziologického komfortu. Proto je důležité vyrábět oděvy tak, aby zajišťovali optimální hodnoty při nošení (prostup kapalné a plynné vlhkosti, vzduchu, tepla). [1,2,5]

Mimo teploty tělesného jádra rozlišujeme ještě teplotu kožní. U teploty kůže hraje podstatnou roli její prokrvení. Čím větší prokrvení je, tím jsou větší ztráty tepla. Kožní teplota závisí na teplotě prostředí. Při pokojové teplotě – 20°C se teplota kůže pohybuje kolem 33-34°C.

Termoregulace při cvičení se aktivuje při zvýšení teploty jádra na 38-40°C. Teplota kůže při cvičení má tři fáze:

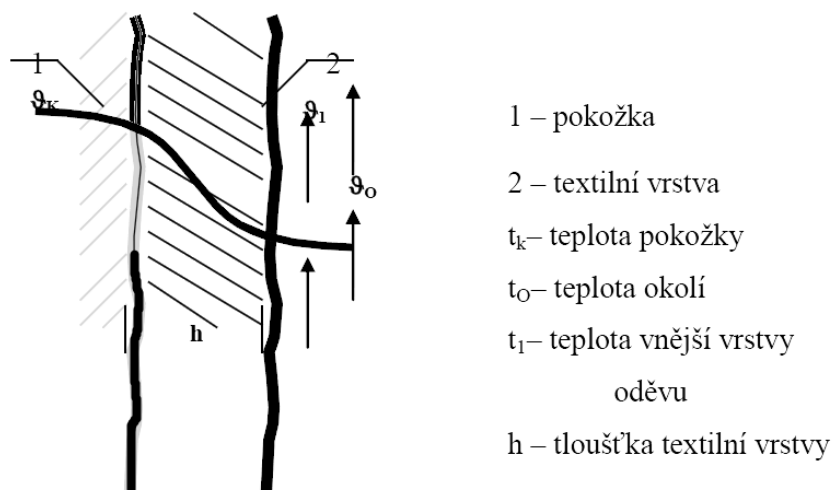
- 1.fáze – snížení kožní teploty ( zúžení cév v kůži při počáteční redistribuci krve)
- 2.fáze – zvýšení kožní teploty (zvýšení svalové práce, odvod tepla)
- 3.fáze – snížení kožní teploty (pocení) [21]

### **2.2.1 Přenos tepla mezi organismem a okolím**

Všechny způsoby odvodu tepla se podílí na termoregulaci. Jejich součet se musí rovnat teplu, které organismus vyprodukuje metabolickými pochody. K přenosu tepla mezi člověkem a okolím dochází těmito způsoby: vedením, prouděním, sáláním, odpařováním a dýcháním. [3]

#### **Přenos tepla vedením**

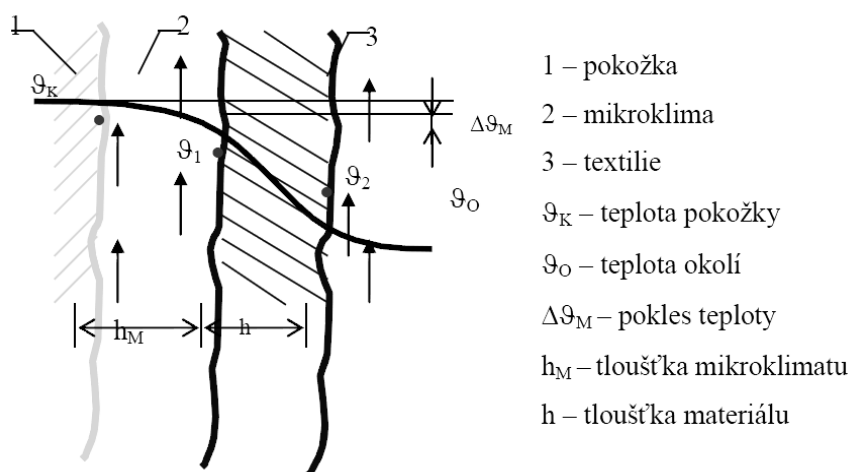
Dochází k výměně tepla mezi teplejším a studenějším objektem – předávání kinetické energie. Přenos nastává v momentě, kdy oděv doléhá na pokožku, teplo se odvádí kontaktním způsobem. Rychlost sdílení tepla závisí na teplotě okolí, tloušťce vrstvy, množství statického vzduchu v textilií a vnějším pohybu vzduchu. Pokud je kůže v kontaktu s chladnějším prostředím ztrácí vedením až 5% tepla. [1,3]



Obr. 3 přenos tepla vedením [1]

### Přenos tepla prouděním

Proudění představuje nejvýznamnější přenos tepla mezi člověkem a okolím. Mezi první vrstvou oděvu a pokožkou se nachází mikroklima (vzduchová mezivrstva) ve které dochází k proudění vlivem pohybu organismu. Teplo je transportováno částicemi tekutiny. Mezi objektem a proudícím prostředím se vytváří tzv. tepelná mezní vrstva, ve které se realizuje teplotní spád. [1, 3]



Obr. 4 přestup tepla prouděním [1]



## Přenos tepla sáláním

Sálání je závislé na teplotě organismu, která je vyšší než teplota okolí, pokud není teplota vyšší dochází k přijímání tepla. Výdej tepla je závislý na teplotě a vlhkosti okolí a na odhalení lidského těla. Přenos tepla sáláním vychází ze Stefan-Boltzmannova zákona (Vzorec 1), podle kterého platí:

$$Q_s = \alpha_s * S * \left[ \left( \frac{273 - \vartheta_k}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + \vartheta_o}{100} \right)^4 \right] [J_s^{-1}]$$

$\alpha_s$  . . . koeficient sálání [ $Wm^{-2}K^{-1}$ ]

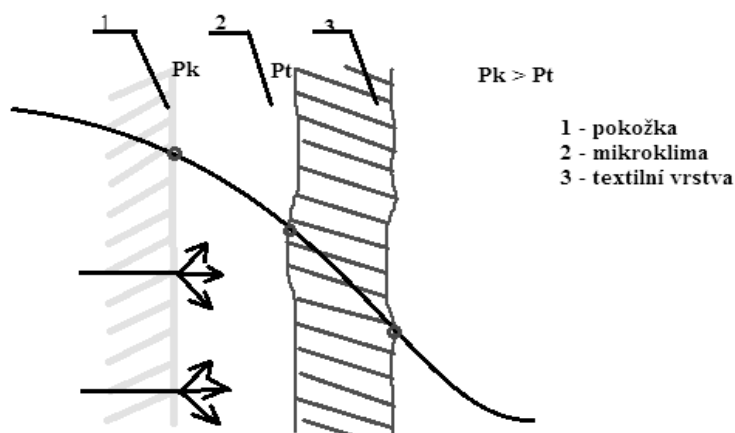
$\vartheta_k$  . . . teplota kůže [ $^{\circ}C$ ]

$\vartheta_o$  . . . teplota okolí [ $^{\circ}C$ ]

Vzorec 1 Stefan – Boltzmanův zákon [2]

## Přenos tepla odpařováním

Při přehřátí organismu dochází k odpařování tepla. Odparné teplo je takové množství tepla, které odchází z kůže neznatelným pocením a je závislé především na měrném skupenském teple a na rozdílu parciálních tlaků vodních par. Pod oděvem není tak velký rozdíl parciálních tlaků. Závisí na sorpčních a transportních vlastnostech všech vrstev textilií a proto tento způsob odvodu tepla je nejvyšší u neoblečeného organismu. [2]



Obr. 5 přestup tepla odpařováním [2]

## Přenos tepla dýcháním

Odvod tepla dýcháním je realizován dýchacími cestami, jejichž počet je dán rozdílem množství vodních par vdechovaných a vydechovaných.

$$Q_d = \Delta i (W_{ex} - W_a) * \frac{1}{t} \quad [J_s^{-1}]$$

$W_{ex}$  . . množství vodních par vdechovaných [kg]

$W_a$  . . množství vodních par vydechovaných [kg]

$t$  . . . čas [s]

$\Delta i$  . . měrné výparné skupenské teplo [J]

Vzorec 2 vzorec pro výpočet množství tepla dýcháním

Všech pět způsobů odvodu tepla z organismu se podílí na fyzikální termoregulaci a jejich součet se musí rovnat množství tepla, které vyrobí organismus metabolickými pochody. Velikost jednotlivých objemů je závislá na činnosti organismu, jeho oblečení a vnějších klimatických podmínkách. [2]

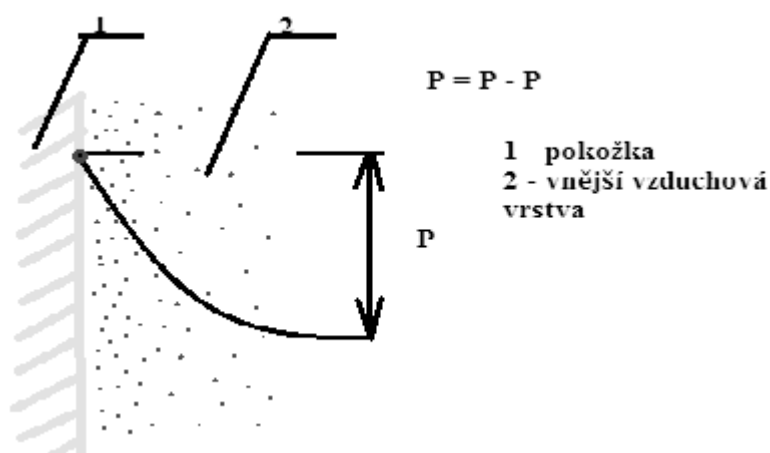
## 2.3 Pocení lidského těla

Pocením lidské tělo dosahuje správné tělesné teploty. Pocení nastává při přehřátí organismu. K ochlazování dochází po vyloučení potu na povrch pokožky. Pot je vylučován pomocí ekrinní žláz, které se nachází skoro po celém těle v kůži. Pot, kromě vody, tvoří i další množství iontů (sodík, hořčík, chlór). Ekrinní žlázy fungují od útlého věku, během puberty se připojují apokrinní žlázy.[6,8]

Oděvy musí poskytovat správný odvod potu a par, musí být také odolné vůči působení potu. Nároky na tyto vlastnosti jsou větší u sportovních oděvů. Sportovní oděvy by měli zajišťovat správnou termoregulaci lidského těla a zajišťovat stálou tělesnou teplotu při sportu.

### 2.3.1 Odvod vlhkosti z povrchu lidského těla

Při tepelné regulaci lidského těla organismus produkuje pot, který je nutno odvést. Odpařování potu může v závislosti na různých zátěžových situacích vzrůst tak že bude důležitější než transport tepla vedením. Podmínkou pro odpar z povrchu kůže jsou dostatečné parciální tlaky par. Odvod vlhkosti, je prováděn pomocí pěti možností odvodu vlhkosti, které jsou prováděny současně. Předpokladem je, aby okolní prostředí bylo schopno toto množství vodní páry přijmout, tj. aby rozdíl parciálních tlaků byl co nejvyšší. (obr. 7) Snižuje-li se tento rozdíl parciálních tlaků, odvod vlhkosti klesá a ochlazovací účinek systému mizí, to vše se děje za předpokladu neoblečeného organismu. U oblečeného je situace složitější, tento systém pracuje podle jiných principů, kdy je vlhkost z povrchu kůže odváděna kapilárně, migračně, difuzně a sorpčně. [2, 3, 4]



Obr. 6 rozdíl parciálních tlaků [2]

### Migrace potu

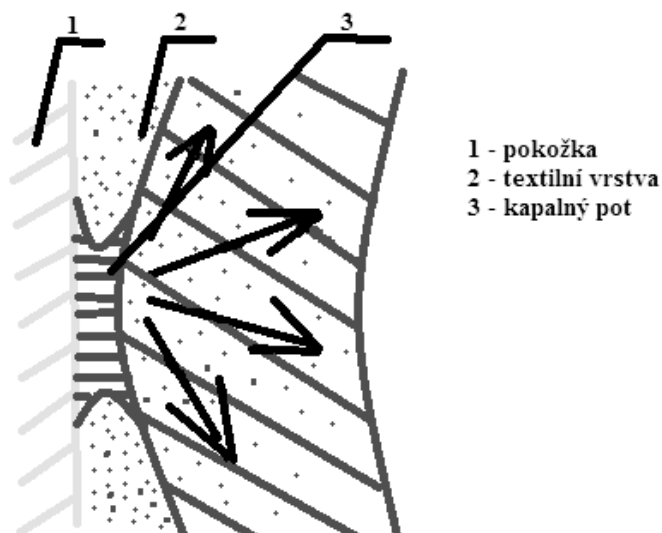
Tento jev nastává u vláken, která nemají schopnost nasákavosti. Textilní vrstva se nachází na teplotním spádu mezi teplotou těla, proto může dojít ke kondenzaci vlhkosti na povrchu vláken. Tato voda je odvedena do kapilár nebo migruje na povrchu vláken. K migraci dochází zároveň i u vody, která byla do textilie dopravena kapilaritou. [2]

### Sorpční proces

Tento proces předpokládá, že vlákna jsou aspoň částečně vyrobena ze sorpčních vláken. Proces je z uvedených procesů nejpomalejší. Vzniklá vlhkost se transportuje do neuspořádaných mezimolekulárních oblastí ve struktuře vlákna a následně se naváže na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře. [2]

## Kapilární odvod potu

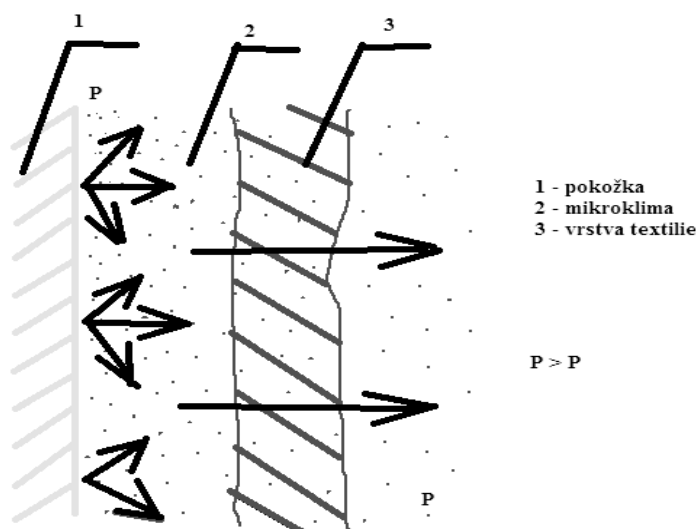
Pot v kapalném stavu je odsáván první textilní vrstvou (obr.8). Pomocí kapilárního vztlínání textilie přijímá tekutinu a transportuje ji do dalších vrstev oděvu. Kapilární odvod je závislý na smáčivosti textilie na povrchovém napětí vláken a potu. U směsových textilií rozhoduje navíc podíl vláken s vyšší a nižší smáčivostí. [2]



Obr. 7 znázornění odsávání potu první textilní vrstvou [2]

## Difuzní prostup vlhkosti

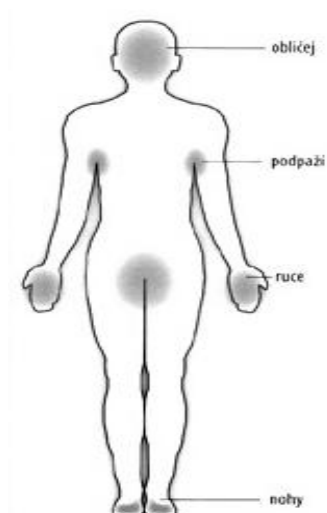
Je realizován pomocí pórů z povrchu kůže přes textilii. Vlhkost prostupuje textilií směrem nižšího parciálního tlaku vodní páry. (obr 9) Jednotlivé vrstvy oděvů nemají stejný difuzní odpor, proto dochází ke zbrždění tohoto prostupu. Neprojevuje se zde složení vláken textilie, pokud vlákna nemění svoji geometrii – bobtnání. [2]



Obr. 8 difuzní prostup vlhkosti [2]

### 2.3.2 Pocení lidského těla při sportu

Při zvýšené tělesné aktivitě se lidské tělo více zahřívá. Následně je termoregulačním systémem ochlazováno. Člověk se při sportu nadměrně potí a produkuje více tepla než v klidovém stavu. Na obr 10 jsou znázorněny zóny na lidském těle, ve kterých dochází k pocení. Při sportu je pocení těchto míst intenzivnější.



Obr. 9 zóny pocení na lidském těle [9]

#### 2.3.2.1 Sportovní oděvy

V dnešní době, kdy je sport životní styl, jsou na sportovní oděvy kladeny vysoké nároky. Sportovní oděvy musí být pohodlné, příjemné na nošení, člověk v nich nesmí mít omezený rozsah pohybu a hlavně by měly být funkční.

Jelikož při pohybu se organizmus nadměrně zahřívá a potí, musí sportovní oděvy vyhovovat těmto nárokům. Musí správně odvádět vlhkost od těla, aby poté oděv nechladil (obr 11) a musí zajišťovat stálou teplotu těla, aby nedocházelo k přehřívání nebo k ochlazení těla. Vlastnosti sportovních oděvů jsou ovlivňovány jejich materiálovým složením a různými finálními úpravami textilií.

**Grafické znázornění termo-aktivních vlastností:**

A - Pokožka

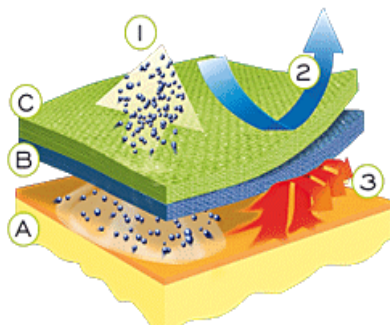
B - Dry Body Guard™ vnitřní vrstva

C - Dry Body Guard™ vnější vrstva

1 - Propouštění potu na směr ven

2 - Tepelná izolace vůči vnějšímu prostředí

3 - Udržování optimální tělesné teploty



Obr. 10 znázornění termo–aktivních vlastností sportovního trika s odvodem potu [10]

Jsou vyvíjeny speciální funkční sportovní oděvy, které vzniklý pot odvádějí od těla a zajišťují jistý komfort. Zároveň musí být sportovní oděv odolný vůči agresivitě potu. Používají se smart textilie. Smart textilie jsou citlivé na vnější prostředí a dokáží na ně reagovat. Reakce se dělí na pasivní, aktivní, very smart materials a na reakci sebe určující. Dnes, jsou běžné pasivní a aktivní smart textilie :

- Pasivní smart textilie – Textilie je citlivá na vnější podmínky, ovšem reakce je pouze nevratná, což znamená, že textilie pouze cítí.
- Aktivní smart textilie – textilie je schopná rozeznat změnu vnějších podmínek a vratně na ně reagovat, reakce je stále stejná. Oděv je schopný vyhodnocovat například teplotu a pomocí tepelných těles teplotu oděvu regulovat. [11]

## 2.4 Měření teplotních polí

### 2.4.1 Měření teploty

Teplota patří k nejdůležitějšímu parametru pro zajištění optimálního technologického procesu. Ve všech technických i v ostatních oborech. Je to jedna z nejdůležitějších termodynamických vlastností, které určují stav hmoty, a objevuje se v mnoha fyzikálních zákonech. Je spjata s kinetickou energií molekul a atomů, kdy se vzrůstající teplotou vzrůstá i míra kinetické energie částic. Bývá charakterizována termodynamickou teplotou. Teplota ovlivňuje skoro všechny stavy a procesy v přírodě. Existuje jen velmi málo vlastností látek, které by nebyly teplotně závislé.

Teplotu můžeme snímat pomocí teploměrů, senzorů, termoelektrických článků, indikátorů teploty, pyrometrů a pomocí termovizí. Historie teploměru začala vynálezem Galilea Galilei, jehož málo přesný teploměr byl založen na teplotě roztažnosti vzduchu. V roce 1709 přišel německý fyzik Fahrenheit s lihovým a posléze s rtuťovým teploměrem. Roku 1724 zavedl novou teplotní stupnici, která po něm byla pojmenována. V dnešní době se teplota snímá pomocí obvykle šesti typů snímačů, jsou to: termočlánky, odporové teploměry a termistory, infračervené teploměry, bimetalové teploměry, snímače s roztažitelnými kapalinami a snímače se změnou stavu. [12]

### **2.4.2 Teplotní stupnice**

Teplota je veličina, kterou nelze měřit přímo. Výslednou teplotu získáme pomocí jiných fyzikálních veličin. K měření teploty se využívá různých fyzikálních principů, jako např. teplotní roztažnosti látek, vznik elektrického napětí apod. Pro měření teploty je důležitá volba teplotní stupnice. Aby bylo dosaženo stejných výsledků měření, bylo nutno sestavit jednotnou teplotní stupnici, která by nebyla závislá na zvoleném principu měření. Takovouto stupnicí je Termodynamická teplotní stupnice, odvozená z účinnosti vratného tepelného stroje. Mimo Termodynamickou teplotní stupnici rozlišujeme další základní druhy teplotních stupnic, je to např. stupnice Celsiova a Fahrenheitova. Mezinárodní teplotní stupnice 1990-ITS-90 je definována od 0,65 K do teplot prakticky měřitelných v podmínkách Planckova radiačního zákona. Mezinárodní teplotní stupnice –  $T_{90}$  je tvořena tak, aby jednotlivé rozsahy měření těsně vyjadřovali číselné hodnoty termodynamické teploty a měly vysokou reprodukovatelnost.

### **2.4.3 Rozdělení teploměrů**

Dle oblasti využití lze teploměry rozdělit na dotykové a bezdotykové. Mezi dotykové teploměry se řadí teploměry skleněné a tyčové, které jsou pomocí senzoru v přímém styku s měřeným objektem. Mezi teploměry bezdotykové se řadí pyrometry, radiační, poměrové a barvové pyrometry. [12]

### **Senzor teploty**

Prvním funkčním prvkem při dotykovém měření teploty je snímač, neboli senzor. Tento senzor tvoří vstupní blok měřicího řetězce a může být dotykový nebo bezdotykový. Senzor je ve styku s měřeným prostředím pomocí citlivé části, která je označována jako čidlo. Úlohou senzoru je snímat sledovanou fyzikální veličinu a přenést ji na měřící veličinu. Sensory rozdělujeme na aktivní a pasivní. [12]

#### **2.4.3.1 Dotykové teploměry**

Dotykové teploměry jsou při měření v přímém dotyku s měřeným objektem. Lze je rozdělit podle použitého fyzikálního principu na teploměry:

##### **Dilatační**

Jsou založeny na principu teplotní roztažnosti tuhých látek, kapalin a plynů. Teplotní dilatace se nejčastěji projevuje změnou délky, objemu nebo tlaku látky. Dilatační teploměry jsou realizovány za pomoci skleněných teploměrů, kapalinových tlakových teploměru, parních tlakových teploměrů, plynových tlakových teploměrů, tyčových teploměrů a bimetalických teploměrů.

**Kovové odporové senzory teploty** – realizují se pomocí platiny, niklu a mědi.

**Polovodičové odporové senzory teploty** - realizovány jako termistory a negastory.

**Speciální dotykové teploměry** - Řadí se mezi ně akustické, krystalové, šumové, magnetické teploměry a optické vláknové senzory teplot. [12]

#### **2.4.3.2 Bezdotykové teploměry**

Bezdotykové měření teploty je velmi jednoduchý, rychlý a přesný způsob měření teploty. Každé těleso, jehož povrchová teplota je vyšší než absolutní nula ( $0K=273,15\text{ }^{\circ}C$ ), vysílá elektromagnetické záření tzv. sálání, které odpovídá jeho teplotě. Bezkontaktní měření teploty využívá elektromagnetického spektra v rozmezí vlnových délek od  $0,4\text{ }\mu m$  po  $1\text{ mm}$ . Bezdotykové teploměry snímají pomocí senzoru elektromagnetické záření vycházející ze snímaného objektu. Tohoto měření teploty se využívá k měření teploty na rotujícím nebo pohybujících se objektech. Bezdotykové teploměry zpracovávají a vyhodnocují záření měřeného objektu, hodnotí buď to intenzitu, nebo poměr intenzit vycházejícího záření.

Mezi výhody tohoto měření patří:

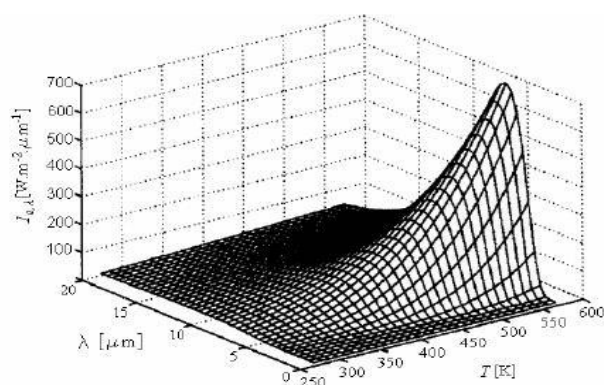
- měření teploty z bezpečné vzdálenosti (při vysokých teplotách),
- nedochází k žádnému mechanickému opotřebení měřeného objektu (není zapotřebí mechanicky připevňovat na objekt žádná čidla),
- zanedbatelný vliv měřicí techniky na měřený objekt (při bezdotykovém měření nedochází k odběru tepla z měřeného objektu),
- měření velmi rychlých změn teploty) pyrometry reagují na změnu teploty v řádech milisekund, což umožňuje více měření v krátké době),
- měřená i velmi vysokých teplot (cca do  $3000^{\circ}C$ ),
- možnost dalšího zpracování získaných dat.



Musíme ovšem brát v potaz nevýhody bezdotykového měření, což jsou:

- nejistoty měření způsobené neznalostí správné emisivity povrchu tělesa,
- neznalosti správné hodnoty prostupnosti prostředí mezi čidlem a objektem,
- nejistota měření způsobená špatnými označeními měřeného objektu,
- nejistoty způsobené nepřesnou korekcí parazitního odraženého záření z okolního prostředí na měřený objekt. [12]

Základním vztahem pro bezdotykové měření teploty je Stefan – Boltzmannův zákon, který říká, že hustota zářivého toku  $E$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] generovaná z jednotky plochy zdroje je na všech vlnových délkách úměrná čtvrté mocnině absolutní teploty tělesa. Pro výpočet přenosu tepla zářením je však třeba znát jak se tato energie rozdělí vzhledem k prostorovému úhlu  $\omega$ . Proto se zavádí intenzita vyzařování  $I$  [ $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ]. Intenzita vyzařování vyjadřuje část hustoty zářivého toku  $E$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] vyzařenou jednotkovým prostorovým úhlem ve směru kolmém k povrchu zářiče. Dalším důležitým zákonem je. Wienův posouvací zákon, který vyjadřuje posun maxima hustoty zářivého toku s rostoucí teplotou tělesa do pásma kratších vlnových délek. V praxi to znamená, že například pro těleso o teplotě 600 K by měl bezdotykový teploměr pracovat v rozmezí vlnových délek od 2 do 10  $\mu\text{m}$ . Pokud by se výrazně zvýšila nebo naopak snížila teplota snímaného tělesa, takto nastavený teploměr by zvýšení teploty nezaznamenal, protože by se spektrum vyzařování posunulo směrem ke kratším respektive k delším vlnovým délkám. (obr. 12) Všechny tyto výše uvedené zákony jsou odvozeny pro absolutně černé těleso. Neexistuje ovšem žádný materiál, který by měl vlastnosti absolutně černého tělesa. Vyzařovací schopností obecně známých materiálů se totiž mění s vlnovou délkou záření. Poměr celkového zářivého toku  $q$  vyjádřený daným tělesem k zářivému toku  $q_0$ , které by vyzařilo absolutně černé těleso se nazývá emisivita  $\varepsilon$ . Emisivita tak číselně vyjadřuje zhoršení vyzařovacích vlastností zdroje a závisí na vlnové délce vyzařování a teplotě tělesa. Emisivita může nabývat hodnot od 0 do 1, přičemž jen absolutně černé těleso má hodnotu emisivity rovnou 1. [13]



Obr. 11 znázornění Planckova vyzařovacího zákona v energetickém tvaru [13]

## 2.4.4 Pohltivost, prostupnost, odraznost, emisivita

### Pohltivost

Těleso nejen vyzařuje, ale i dopadající záření pohlcuje. Poměr energie tělesem pohlcené k energii na těleso dopadající nazýváme pohltivost a značíme ji  $\alpha$ . Tělesem, které má pohltivost rovnou 0, veškeré záření projde nebo se odrazí. Máli těleso emisivitu rovnou 0,2 pohltí 20% dopadajícího záření. [14]

$$\alpha_{\lambda} = \frac{\varphi_{\lambda a}}{\varphi_{\lambda d}} \quad \alpha = \frac{\varphi_a}{\varphi_d} = \frac{\int_0^{\infty} \varphi_{\lambda a} \alpha_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi_{\lambda d} d\lambda}$$

$\alpha_{\lambda}$  – spektrální pohltivost pro danou vlnovou délku,  
 $\alpha$  – pohltivost v úhrnném spektru vlnových délek,  
 $\varphi_a$  – pohlcený zářivý tok,  
 $\varphi_d$  – dopadající zářivý tok.

Vzorec 3 vzorce pro výpočet pohltivosti [12]

### Prostupnost (transmitace)

Prostupnost vyjadřuje hodnotu záření, které prošlo objektem. Značí se  $\tau$  a je dána vztahy:

$$\tau_{\lambda} = \frac{\varphi_{\lambda t}}{\varphi_{\lambda d}} \quad \tau = \frac{\varphi_t}{\varphi_d} = \frac{\int_0^{\infty} \varphi_{\lambda t} \tau_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi_{\lambda d} d\lambda}$$

$\tau_{\lambda}$  – spektrální propustnost pro danou vlnovou délku,  
 $\tau$  – propustnost v úhrnném spektru vlnových délek,  
 $\varphi_t$  – prostupující zářivý tok,  
 $\varphi_d$  – dopadající zářivý tok.

Vzorec 4 vzorce pro výpočet prostupnosti [12]

## Odraznost (reflektace)

Odraznost záření se značí  $\rho$  a je dána vztahy:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\varphi_{\lambda r}}{\varphi_{\lambda d}} \qquad \rho = \frac{\varphi_r}{\varphi_d} = \frac{\int_0^{\infty} \varphi_{\lambda r} \rho_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi_{\lambda d} d\lambda}$$

$\rho_{\lambda}$  – spektrální odrazivost pro danou vlnovou délku,

$\rho$  – odrazivost v úhrnném spektru vlnových délek,

$\varphi_r$  – odražený zářivý tok

$\varphi_d$  – dopadající zářivý tok.

Vzorec 5 vzorce pro výpočet odraznosti [12]

## Emisivita

Vyjadřuje poměr vyzařování tepelného zářiče k vyzařování černého tělesa při stejné teplotě.

Značíme ji  $\varepsilon$  a platí pro ni vztah :

$$\varepsilon = \frac{M}{M_0} = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda, T) M_{0\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} M_{0\lambda} d\lambda}$$

$M_0$  – intenzita vyzařování černého tělesa,

$M_{0\lambda}$  – spektrální hustota intenzity vyzařování černého tělesa,

$\varepsilon(\lambda, T)$  – emisivita.

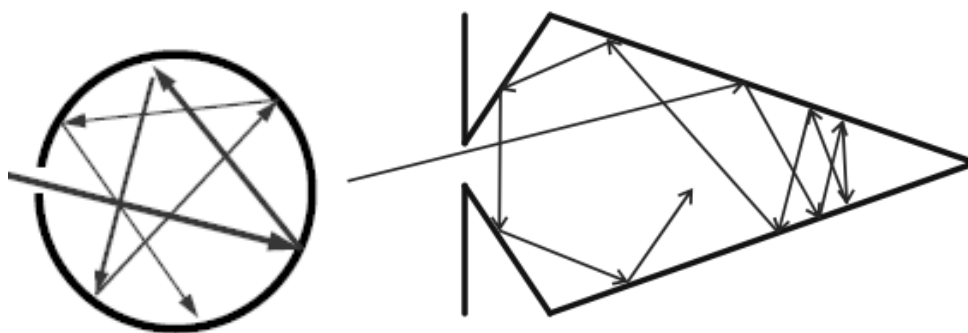
Vzorec 6 vzorec pro výpočet emisivity [12]

Spektrální emisivita - značí se  $\varepsilon_{\lambda}$ , je to poměr spektrální hustoty intenzity vyzařování tepelného zářiče ke spektrální hustotě vyzařování černého tělesa při téže teplotě. [12]

Směrová emisivita - značí se  $\varepsilon$ , je to poměr hustoty záře tepelného zářiče ve směrech  $\varphi$  a  $\vartheta$  k hustotě záře černého tělesa při stejné teplotě. [12]

### 2.4.5 Černé těleso

Černé těleso se definuje jako těleso, které pohlcuje veškerou energii, která na něj dopadá. Hodnota emisivity černého zářiče je v rozmezí  $1 > \varepsilon > 0,99$ . Černé těleso – černý zářič se používá ke kalibraci veškerých pyrometrů (obr 5,6). Černý zářič má emisivitu  $\varepsilon \approx 1$ . Jako černý zářič se obvykle využívá tzv. dutinový zářič s reflexním, difuzním nebo difuzně reflexním povrchem (obr 2). Poměrně dobrým modelem absolutně černého tělesa je dutina, jejíž vnitřní povrch tvoří matná černá plocha. Dojde-li k průniku, záření do dutiny, při opakovaných odrazech od stěn se veškerá energie záření pohltí. Otvor dutiny se tedy jeví jako černé těleso (obr 3, 4). [12, 15]



Obr. 12 realizace absolutně černého tělesa [15]



Obr. 13 tmavý otvor- zdá se že prostor pod ním je tmavý [15]



Obr. 14 pohled na bílou bednu- otvor ve víku je absolutně černé těleso [15]



Obr. 15 ukázka černého tělesa pro kalibraci pyrometrů [18]



Obr. 16 ukázka kalibrace pyrometru [18]

## 2.4.6 Základní veličiny bezdotykového měření

veličina	značka	Definice	Jednotka
zářivý tok zářivý výkon	$\Phi$	výkon přenášený zářením	W
intenzita vyzařování	M	podíl zářivého toku vycházejícího z elementu povrchu a plochy tohoto povrchu	$W \cdot m^{-2}$
spektrální hustota intenzity vyzařování	$M_\lambda$	podíl intenzity vyzařování v malém intervalu vlnových délek	$W \cdot m^{-3}$
zářivost	I	podíl zářivého toku vycházejícího ze zdroje nebo jeho elementu do elementárního prostorového úhlu	$W \cdot sr^{-1}$
zář	L	podíl zářivosti elementu povrchu a plochy kolmého průmětu tohoto elementu do roviny kolmé k danému směru	$W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$
spektrální hustota záře	$L_\lambda$	podíl záře v malém intervalu vlnových délek a tohoto intervalu	$W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-3}$
intenzita záře	E	podíl zářivého toku dopadajícího na element povrchu a plochy tohoto elementu	$W \cdot m^{-2}$
emisivita	$\epsilon$	poměr vyzařování tepelného zářiče k vyzařování černého tělesa	Bezrozměrná veličina
odrazivost	$\rho$	poměr odraženého světelného toku k toku dopadajícímu	Bezrozměrná veličina
prostupnost	$\tau$	hodnota záření, které prošla objektem	%
pohltivost	$\alpha$	poměr energie tělesem pohlcené k energii na těleso dopadající	

Tabulka 1 základní veličiny bezdotykového měření [12]

## 2.4.7 Senzory snímající tepelné záření

Základní dvě skupiny detektorů tepelného záření se člení dle interakce fotonů s materiálem na tepelné a kvantové.

**Tepelné detektory infračerveného záření** - dochází k oteplení citlivé části detektoru a pohlcení energie, která se posléze nepřímou vyhodnocuje prostřednictvím snímačů teploty. Tepelné detektory můžeme dále dělit na termoelektrické, bolometrické a pyrometrické.

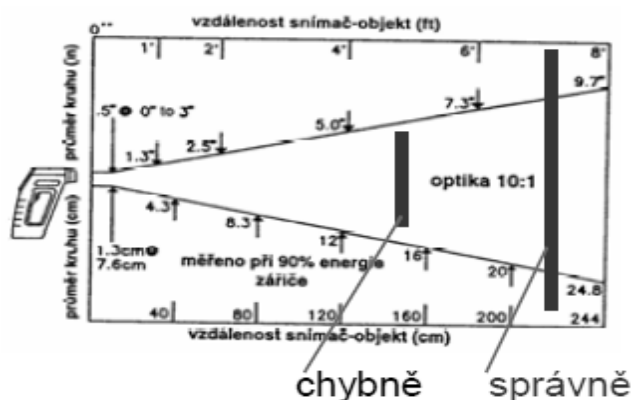
**Kvantové detektory** - podstatou je fyzikální jev, při kterém při interakci dopadajících fotonů dochází ke generaci párů elektron – díra. Při teplotě vyšší než je absolutní nula a při splnění podmínky  $W_f \geq W_g$ , kde  $W_f$  je energie fotonů a energie  $W_g$  udává šířku zakázaného pásu polovodiče, dochází k uvolnění elektronu a jeho přechodu na vyšší energetickou hladinu.  $W_f$  je energie absorbovaných fotonů. [12]

## 2.4.8 Zaměření objektu infračerveným teploměrem

Zorné pole infračerveného teploměru (obr 18) musí zcela zaplňovat plochu měřeného objektu, tato plocha roste se čtvercem vzdálenosti. Pokud dojde k chybě se zaměřením, dochází k chybným výsledkům. Měření je nezávislé na vzdálenosti přístroje od měřeného objektu, pokud obraz objektu kryje obrys přijímače záření. Kontrola se provádí vizuálně okulem nebo podle diagramu na přístroji či pomocí laserového zaměřovače (obr 5).



Obr. 17 laserové zaměřování objektu [18]



Obr. 18 zorné pole infračerveného teploměru [18]

## 2.5 Bezdotykové teploměry

Bezdotykové teploměry lze rozdělit podle měřicího principu do dvou skupin a to na přímoměřící (pyrometry) a zobrazovací (termovize, fototermometrie).

### 2.5.1 Přímé měřící bezdotykové teploměry

#### Pyrometry

Pyrometry jsou přímo měřící bezdotykové teploměry. Rozdělují se podle spektrální oblasti na monochromatické, pásmové, úhrnné, poměrové, vícepásmové, pyrometry s automatickou korekcí emisivity a pyrometry s optickými vlnovody v infračervené oblasti. Pomocí pyrometrů se nejčastěji měří teploty v rozsahu od  $-50^{\circ}\text{C}$  až do  $+3500^{\circ}\text{C}$ .

- Monochromatické pyrometry - spektrálně selektivní pyrometr, založený na závislosti spektrálního vyzařování tělesa při dané vlnové délce na teplotě. Ve skutečnosti nelze vyrobit zcela monochromatický pyrometr, tak že se vždy měří v úzkém vlnovém pásmu  $\Delta\lambda$ .
- Pásmové pyrometry - spektrálně selektivní pyrometry, které měří záři na povrchu tělesa v daném rozsahu vlnových délek. Šíře pásma vlnových délek je od 10nm do jednotek mikrometru.
- Úhrnné pyrometry - přístroje, které vyhodnocují tepelné záření v celém spektru vlnových délek. Měří teplotu dle Stefan-Boltzmannova zákona - měření v celém spektru vlnových délek od  $\lambda = 0$  do  $\lambda = \infty$ . Požadavku měření vyhovují v celém spektru pouze tepelné detektory.
- Poměrové pyrometry - vyhodnocují povrchovou teplotu pomocí poměru dvou září při dvou různých vlnových délkách.
- Vícepásmové pyrometry - používají se pro zmenšení nejistoty měření.
- Pyrometry s automatickou korekcí emisivity - umožňují měření bez znalosti emisivity měřeného objektu. Tento pyrometr měří střídavě zář z měřeného předmětu a zář z měřeného předmětu ozářeného laserem a přesně definovanou září.
- Pyrometr s optickými vlnovody v infračervené oblasti - vlnovody jsou při měření využívány pro přenos fotonového toku z místa, které není přímočaře viditelné z místa pyrometru. [12]

## 2.5.2 Zobrazovací bezdotykové teploměry

### Snímání teplotních polí – termografie

Snímání teplotních polí neboli termografie se využívá především ve vědě, průmyslu, lékařství a ve vojenství. Technologické změny se během deseti let v této oblasti mění exponenciálně. Vlivem těchto změn se dosahuje vyšší úrovně experimentu, snazšího používání a nižší ceny měřicího zařízení. Dříve se měřili lokální teploty, nyní díky vývoji lze měřit teplotní pole jako nekonečnou množinu měřených bodů. Jako nejprogresivnější metoda snímání teplotních polí je používána termovize, jejíž princip spočívá v bezkontaktním měření intenzity infračerveného záření. Její vstupní část tvoří vhodný infradetektor a výstupem je analogový a digitální obrazový signál. Důležitou částí termovizní jsou programové a technické prostředky pro digitalizaci, zpracování a transformaci obrazu teplotního pole.

Termovize lze rozdělit do dvou skupin. Do první skupiny se řadí termovize, které jsou extrémně přesné a rychlé, které se používají především na výzkumné účely. Druhou skupinu tvoří termovize, které již neoplývají takovou přesností, ale mají jednoduché ovládání. [13]

### 2.5.3 Termovize

Termovize (obr 20) je základním měřicím zařízením pro infračervenou diagnostiku. Pomocí infračervené diagnostiky můžeme odhalit úniky tepla, opotřebení strojních součástí nebo rakovinu v lidském těle.

Termovizní systémy lze rozdělit na termovizní systémy s opticko-mechanickým rozkladem obrazu a na termovizní systémy s maticovým detektorem. [12]



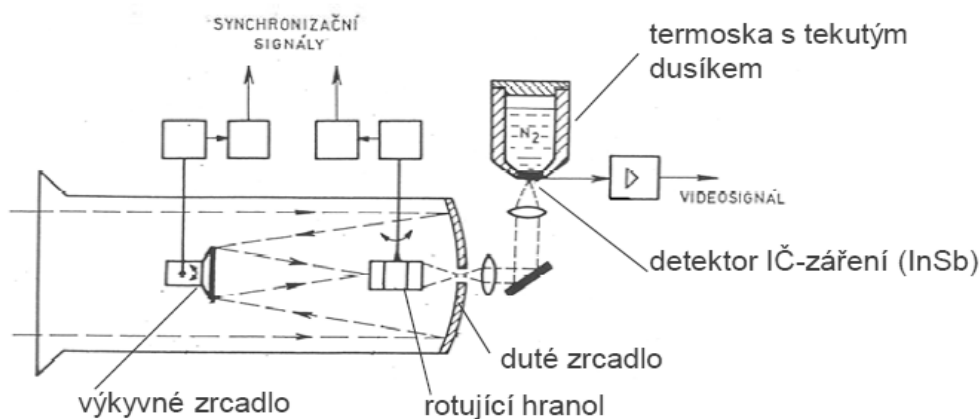
Obr. 19 termovizní kamera Cyclops Ti 814 s ukázkami snímání [16]  
Většina termovizních systémů se skládá z těchto tří modulů:



1. Modul optiky – zaměřuje záření na infračervený detektor, případně provádí optický rozklad, obsahuje referenci teploty.
2. modul detektoru – převádí záření na elektrický signál.
3. elektronika a software – převádí analogový signál detektoru na digitální, převádí signál na teplotu a vytváří obrat a umožňuje jeho zpracování. [17]

### Termovizní systém s opticko-mechanickým rozkladem

Rozklad obrazu se provádí pomocí snímání jednotlivých bodů měřeného objektu, pomocí optické osy. Zorné pole termovize se postupně zaměřuje na všechny měřené body objektu. Pomocí pohyblivých optických částí kamery se rozkládá dráha rozkladu. Snímané teplotní pole, vyzařované měřeným objektem, může být rozkládáno různými způsoby. Nejčastější je rozklad pomocí kývavících se zrcadel – rozklad na řádky (obr 21) a nebo pomocí rotačních reflexních hranolů – rozklad na body. Kamery s opticko-mechanickým rozkladem v dnešní době nachází své využití především ve vojenství. [12]

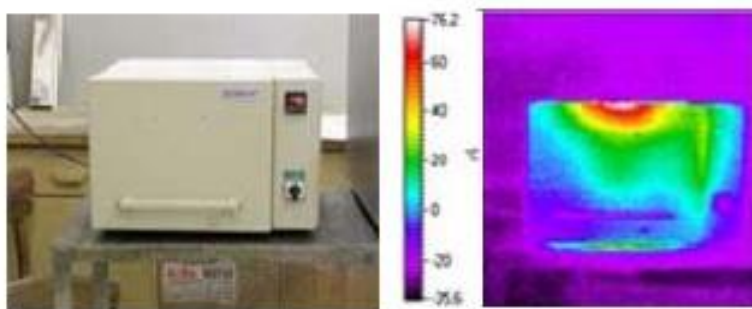


Obr. 20 princip termokamery s elektromechanickým rozkladem obrazu [18]

### Termovizní systém s maticovým detektorem

Pro termovizní kamery se využívají chlazené a nechlazené maticové mikrobolometrické a kvantové detektory. Zpracování signálů se provádí za pomoci čipu, který zpracovává signál. Celá snímaná oblast je optikou zaostřena na matici umístěnou v ohniskové rovině optického systému. Vzhledem k jejich nízké výrobní ceně je těchto termokamer využíváno především v komerční sféře.

Programové vybavení dodávané k termovizím umožňuje mimo základního nastavení parametrů také zpracování signálu jako je vykreslení teplotního profilu, vyhodnocení střední a maximální hodnoty teploty, vyhodnocení teploty, barevné zobrazení zvolených izoterm, nastavení různých hodnot emisivity, změnu barevné palety aj.. U termovizní se používají dva typy pásma vlnových délek, a to krátkovlnné a dlouhovlnné. Na termovizi lze nastavit pro libovolné rozmezí teplot libovolnou barvu nebo aspoň zvolit jednotlivou z barevných palet. Přiřazení barev je umělé, neboť termovize pracuje v neviditelném spektru záření. (obr 22) [13]



Obr. 21 ukázka měření termovizní s maticovým detektorem [18]

## 2.5.4 Nejistoty a chyby bezdotykového měření teploty

### Nejistoty měření způsobené chybným stanovení emisivity

Odchylka ve stanovení emisivity způsobí mnohem větší nejistotu měření teploty u úhrnných pyrometrů než u monochromatických pyrometrů. U pásmových pyrometrů platí, že čím širší bude pásmo vlnových délek, tím větší bude nejistota měření.

Hodnotu emisivity lze stanovit pomocí vhodných tabulek, zaměřením objektu spektrometrem, změřením teploty objektu pomocí dotykového snímače, začerněním části povrchu speciálním lakem ze známou pohltivostí. [12]

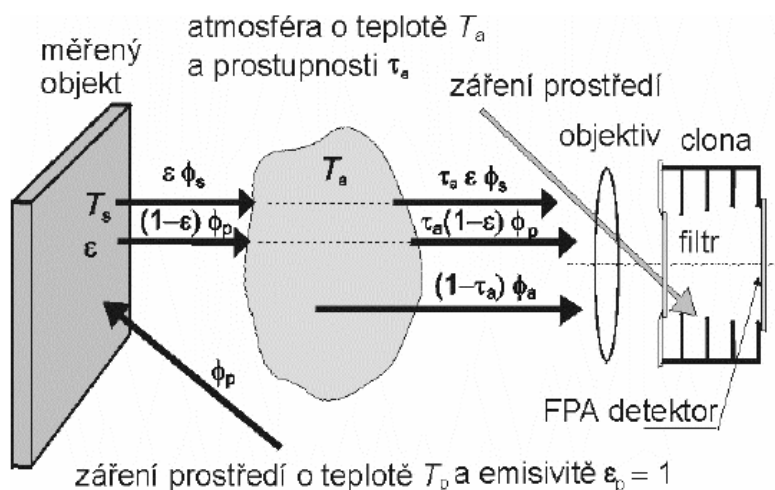
### Chyba měření způsobená nerespektováním prostupnosti atmosféry a zářivého toku okolního prostředí

Celkový zářivý tok dopadající na objektiv za předpokladu, že prostředí tvoří černý prostor a je zanedbán tok od kamery k měřenému objektu, je dán vztahem:

$$\Phi = \varepsilon \tau_a \phi_s + (1 - \varepsilon) \tau_a \phi_p + (1 - \tau_a) \phi_a$$

Vzorec 7 výpočet pro celkový zářivý tok

První složka této rovnice je dána emisivitou měřeného objektu, druhá složka popisuje odražené záření z prostředí, ve kterém provádíme měření, přičemž  $(1 - \epsilon)$  je odrazivost objektu za předpokladu, že jeho prostupnost je nulová. Třetí složka je dána emisivitou okolní atmosféry, přičemž  $(1 - \tau_a)$  je emisivita atmosféry za předpokladu, že její odrazivost je nulová (obr 23). [12]



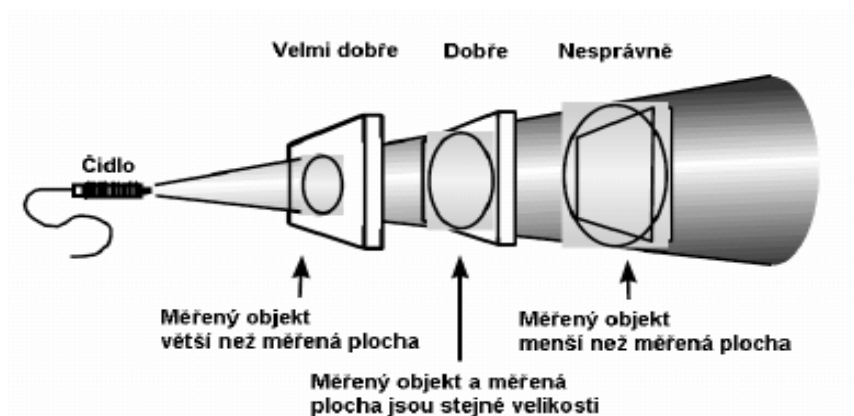
Obr. 22 vliv prostupnosti atmosféry a záření okolního prostředí [12]

### Chyba metody způsobená zanedbáním vzájemného zářivého toku

Chyba vzniká mezi objektem a detektorem, vlivem zanedbání vzájemného zářivého toku. Zářivý tok z objektu, který dopadá na detektor, kde se při nulové prostupnosti částečně pohltí a částečně odrazí. V témže okamžiku však vychází zářivý tok z detektoru, který dopadá na měřený objekt a za předpokladu nulové prostupnosti objektu, se částečně pohltí a částečně odrazí. Tyto odrazy se neustále opakují. Detektor tedy mimo zářivý tok objektu snímá i svůj vlastní odražený zářivý tok. Je nutno respektovat i sdílení tepla mezi detektorem a okolními objekty. Jestli že, nebude platit že emisivita okolního prostoru rovna jedné, musí být brán v potaz okolní geometrický tvar prostředí. [12]

### Chyba metody způsobená nedodržením velikosti měřené plochy dle technických podmínek výrobce

Výrobce termokamery je dáno grafické zobrazení závislosti minimální plochy na měřeném objektu na vzdálenosti od objektivu zorného úhlu. Nesmí se měřit plocha objektu, která nesplňuje požadavky výrobce (obr 24). [12]



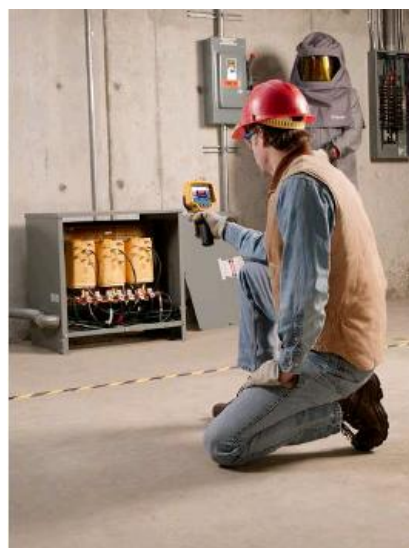
Obr. 23 znázornění zaměření měřené plochy objektu [13]

## 2.6 Termovize Fluke TI 25

Termovize Fluke TI 25 (obr 25) je ruční termokamera, která nabízí moderní způsoby měření. Je to univerzální přístroj pro operativní měření v termodiagnostice a prediktivní údržbě. Termokamera je používána na vyhledávání problémů ve stavebnictví a strojírenství. [19,20]



Obr. 24 termokamera Fluke TI 25 [19]



Obr. 25 použití termokamery ve strojírenství [19]

Je zkonstruována na použití v náročných provozních podmínkách (obr 26). Oplývá technologií IR – Fusion, která zaznamenává mimo infračervený a digitální obraz, oba obrazy poté spojí a usnadňuje tím analýzu infračervených snímků. Vysoká teplotní citlivost a rozlišení senzoru umožňují reprodukovatelné měření i těch nejmenších teplotních rozdílů. [19,20]

## 2.7 Technická data

<b>Rozsah</b>	20 až 350°C	<b>Spektrum</b>	8 až 14 µm
<b>Specifikace</b>	Přesnost měření $\pm 2$ °C Rozlišení displeje 0,1 °C Teplotní rozlišení $\leq 0,1$ °C Paměť až pro 3 000 termogramů	<b>Příslušenství</b>	Program SmartView pro analýzu termogramů a tvorbu zpráv  Paměťová karta 2 GB Čtečka paměťových karet
<b>Zorné pole</b>	Objektiv 23 ° (h) x 17 ° (v)	<b>Zaměřování</b>	Displej

[20]

## 2.8 Návod na použití

Termokamera Fluke TI 25 spolupracuje se softwarem SmartView<sup>TM</sup>. Při připojení termokamery k PC je nutná instalace toho to softwaru. Aplikace SmartView<sup>TM</sup>, která je obsažena na instalačním disku dodávanému k termokameře. Software umožňuje ukládání, mazání a úpravu obrázků. [20]

### Nastavení přesných teplot

Termální zobrazovač měří teplotu cílového materiálu měřením množství infračervené energie vyzařované z povrchu cílového objektu. Tato energie může být emitována přímo z cíle do termálního zobrazovače. Energie jiných objektů se může odrážet od povrchu cíle do termálního zobrazovače. V případě průhledných materiálů může určité množství energie pronikat cílem do termálního zobrazovače. Termální zobrazovač „vidí“ energii ze všech těchto tří zdrojů a provádí odpovídající měření teploty, které může, nebo také nemusí odrážet skutečnou teplotu cílového objektu.

Aby bylo možné získat přesné údaje o teplotě, je třeba korigovat hodnoty naměřené odražené energie, kterou nevyzařuje přímo cílový objekt, ale kterou termální zobrazovač zachytí. Protože většina materiálů, které jsou podstatné v aplikacích údržby a stavebnictví, je pro infračervené záření neprůsvitných, přenášenou energii lze ignorovat. Proto se při měření teplot musíme zabývat pouze přímo emitovanou a odráženou radiací.

Chceme-li lépe pochopit, jak korigovat charakteristiky materiálu, abychom získali přesné naměřené teploty, musíme se seznámit s vlastností materiálu nazývanou zářivostí. Všechny materiály lze srovnávat s ideálním objektem nazývaným černé těleso. Černé těleso neodráží ani nepřenáší žádnou energii. Veškerá energie, která z dokonale černého tělesa dorazí k termálnímu zobrazovači, je tímto tělesem přímo vyzařována; termální zobrazovač proto udává správnou teplotu černého tělesa. Podle definice je zářivost dokonale černého tělesa rovna hodnotě 1,0. Ve skutečném světě se materiály nechovají jako dokonale černá tělesa. Odrážejí určitou energii ze svého okolí a emitují radiaci přímo. Zářivost se vyjadřuje jako poměr přímého vyzařování energie materiálem ve srovnání s energií vyzařovanou černým tělesem o stejné teplotě.

Software SmartView obsahuje tabulku hodnot zářivosti širokého spektra materiálů, kterou lze používat jako referenční. Obecně platí, že zářivost lesklých kovových materiálů je nízká, obvykle nižší než 0,25, ovšem tato hodnota se dramaticky zvyšuje podle textury povrchu nebo oxidace; zářivost nekovových materiálů je vysoká, obvykle přesahuje 0,8. Vyzařování průsvitného materiálu vzniká několik mikronů od povrchu. Zářivost lakovaných povrchů je charakteristická pro povrchovou vrstvu a ne pro materiál podkladu. Většina organických nátěrů má velmi vysoké hodnoty zářivosti, zhruba kolem 0,95.

U většiny běžných aplikací není třeba znát přesnou teplotu objektu, ale pouze mít informaci o tom, zda je daný předmět teplejší nebo chladnější než sousední předměty. U těchto obecných aplikací doporučujeme nastavit zářivost na termálním zobrazovači na hodnotu 0,95 a nastavit teplotu pozadí na pokojovou teplotu.

U aplikací, které vyžadují přesné měření teploty nebo kde mají cílové materiály velmi nízké hodnoty zářivosti, je třeba korigovat měření zářivosti cílového předmětu a teploty pozadí. Odpovídající hodnoty jsou uvedeny v tabulce hodnot zářivosti nebo je lze změřit pomocí termálního zobrazovače. Může být obtížné přesně změřit teploty cílových objektů, které mají extrémně nízké hodnoty zářivosti, protože většina radiace se odráží; proto se radiace horkých předmětů poblíž cíle může odrážet od cílových objektů a na obrazu se pak zobrazují jako horké nebo chladné body. [20]

### **Nastavení zářivosti**

Většina materiálů má přibližně známou hodnotu zářivosti při určité teplotě. Obecně řečeno zadáte hodnotu zářivosti cílového materiálu, avšak existuje celá řada složitějších důvodů, proč zadat jiné hodnoty zářivosti. Můžete také zadat pokojovou teplotu do pole teploty pozadí, avšak realisticky by měla být teplota pozadí teplotou objektu nebo objektů, které se odráží od cílového objektu. [20]

## **Technologické omezení**

V určitých situacích je obtížné nebo dokonce nemožné získat přesné naměřené hodnoty teploty.

- Při sledování vzdálené scény atmosférou obsahující vysoký podíl vodních par, například v obdobích vysoké vlhkosti. Vodní páry a vodní kapky v atmosféře pohlcují a rozptylují infračervené záření.
- Při prohlížení cíle s teplotou mimo stanovený rozsah kalibrace termálního zobrazovače. Například při sledování slunce nebo „jasné“ oblohy.
- Při zobrazení cílů, které neodrážejí ani neemitují infračervené světlo rovnoměrně všemi směry. Tyto předměty se mohou někdy chovat jako zrcadla v celém svém povrchu nebo jeho části; v takovém případě byste se mohli dívat na odraz objektu za vámi. [20]

### 3 Experimentální část

Jako cíl experimentální části své bakalářské práce jsem zvolila porovnání funkčnosti sportovních triček v závislosti na jejich materiálovém složení. Jako vzorky jsou použity čtyři sportovní tílka, která jsou běžně k zakoupení na českém trhu.

Srovnání sportovních tílek bylo realizováno pomocí termosnímků, které jsem nasnímala pomocí termokamery v tmavé klimatizované místnosti dle normy ČSN EN 20139. Snímání probíhalo před, během a po zátěži v desetiminutových intervalech. Jako zátěž jsem zvolila jízdu na rotopedu při středně těžké zátěži (zátěž 5, rychlost 17km/h). Vyhodnocovány byly tři oblasti, a to oblast pod prsy, oblast kolem páteře a spodní část zad. Nejlepší funkčnosti dosáhlo tílko, které mělo po provedení experimentu, teplotu co nejbližší teplotě těla probantky.

#### 3.1 Popis vzorků

Materiálové složení srovnávaných tílek :

Číslo vzorku	Značka	Složení
1	Reebok ( Obr. 27)	88% polyester 12% elastan
2	Adidas (Obr. 28)	82% polyester 18% elastan
3	Nike (Obr.30)	34% polyester 64% bavlna
4	Amisu (Obr.29)	100% bavlna

Tabulka 2 materiálové složení tílek





Obr. 26 triko Reebok [vlastní]



Obr. 27 triko Adidas [vlastní]



Obr. 28 triko Nike [vlastní]



Obr. 29 triko Amisu [vlastní]

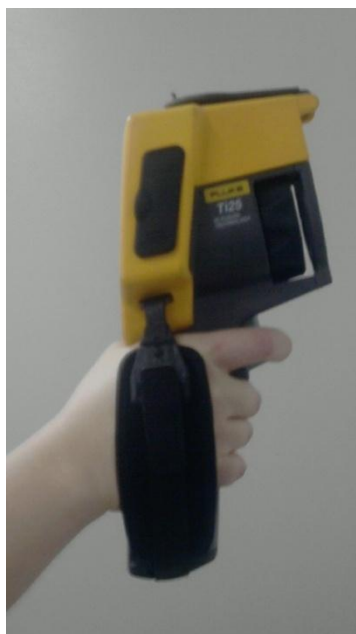
### 3.2 Průběh měření

Měření bylo prováděno za pomoci Termovize Fluke TI25, o které se zmiňuji v teoretické části (Obr.31). Dále byl použit rotaped a celé snímání teplotních polí bylo realizováno v klimatizované laboratoři (20°C) s vypnutými světly a zataženými žaluziemi, s vlhkostí vzduchu 65% aby naměřené teploty byly co nejpřesnější(Obr. 33). Jeden vzorek se měřil vždy v jeden den a to vždy ráno. Probantka byla snímána ze vzdálenosti 1,5 metru.

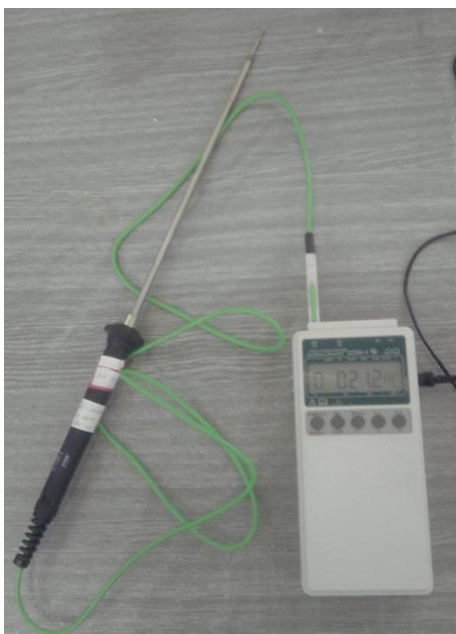
Zobrazení snímků získaných z termokamery bylo nastaveno na vysoký kontrast, rozsah na termokameře byl nastaven automaticky a emisivita byla určena pomocí tabulky přiložené k termokameře na hodnotu 0,94. Získané snímky byly zpracovány pomocí softwaru SmartView<sup>TM</sup>.

Kontrolní měření povrchové teploty probantky bylo prováděno dotykovým teploměrem (Obr.32).

Pomocí software SmartView jsem do snímků umístila středový bod a čtvercové a obdélníkové výběry porovnávaných oblastí. U výběrů byly přidány průměrné, maximální a minimální teploty oblastí (Obr.34). Pořízené snímky jsou uvedeny v příloze.



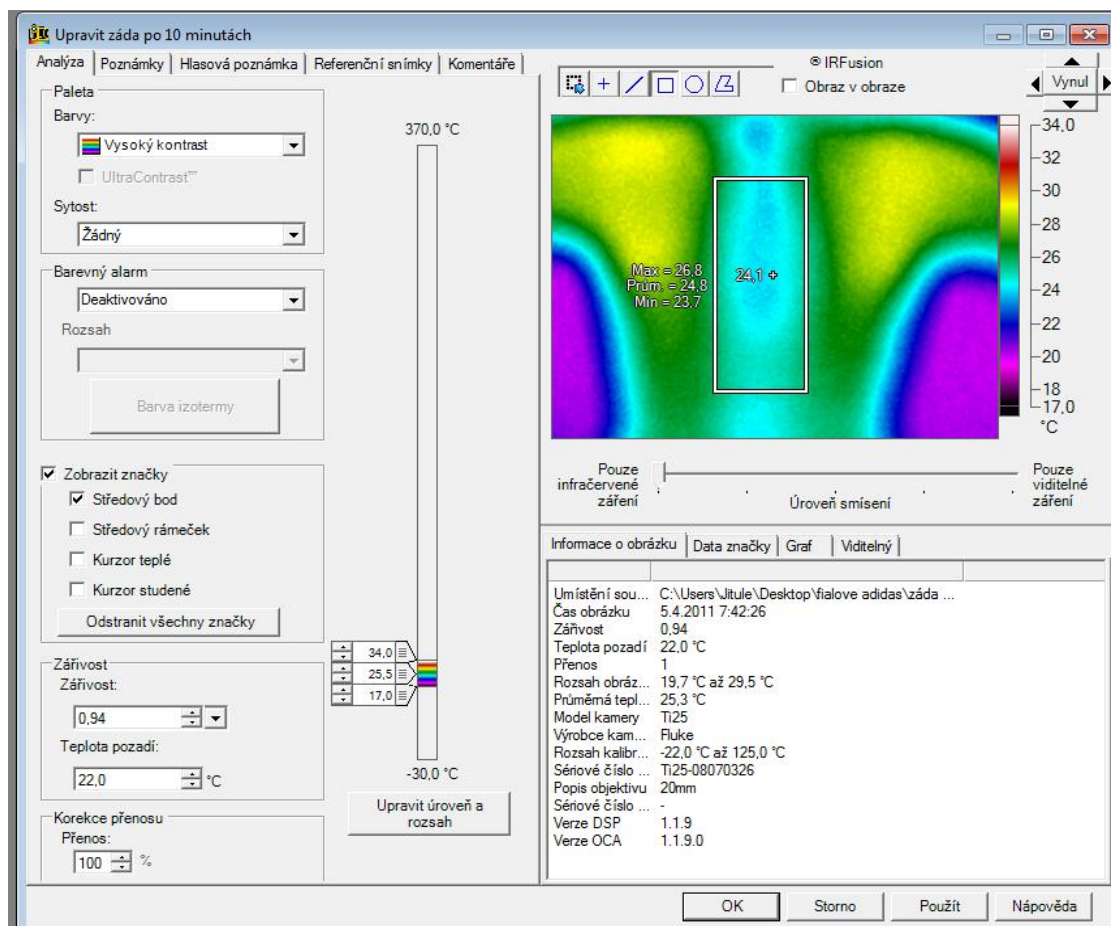
Obr. 30 termovize Fluke  
[vlastní]



Obr. 31 dotykový teploměr  
[vlastní]



Obr. 32 průběh experimentu  
[vlastní]



Obr. 33 program Smart view [vlastní]

### 3.3 Výsledky měření

Termosnímky porovnávaných oblastí vzorků jsou přiloženy v příloze.

Teplotní rozdíl 1 – udává rozdíl teplot jednotlivé oblasti před a po tělesné zátěži.

Teplotní rozdíl 2 – udává rozdíl teplot mezi teplotou těla bez oděvu a průměrnou teplotou těla s oděvem.

### Vzorek 1: tílko Reebok

oblast	čas	0 minut	10 minut	20 minut	Teplotní rozdíl 1
<b>Tělo</b>		31,9°C	29,7°C	28,1°C	<b>3,8°C</b>
<b>Pod prsy</b>		26,9°C	27,0°C	24,1°C	<b>2,8°C</b>
<b>Záda</b>		28,5°C	27,6°C	25,1°C	<b>3,4°C</b>
<b>Spodní část zad</b>		29°C	27,3°C	25,2°C	<b>3,8°C</b>
<b>Teplotní rozdíl 2</b>		<b>3,8°C</b>	2,4°C	<b>3,3°C</b>	

Tabulka 3 naměřené teploty vzorku 1

### Vzorek 2: tílko Adidas

oblast	čas	0 minut	10 minut	20 minut	Teplotní rozdíl 1
<b>Tělo</b>		31,5°C	29,7°C	29,4°C	<b>2,1°C</b>
<b>Pod prsy</b>		26,4°C	25,8°C	25,2°C	<b>1,2°C</b>
<b>Záda</b>		25,7°C	24,8°C	24,9°C	<b>0,8°C</b>
<b>Spodní část zad</b>		27,3°C	25,6°C	24,8°C	<b>2,5°C</b>
<b>Teplotní rozdíl 2</b>		<b>5°C</b>	4,3°C	<b>4,4°C</b>	

Tabulka 4 naměřené hodnoty vzorku 2

### Vzorek 3: tílko Nike

oblast	čas	0 minut	10 minut	20 minut	Teplotní rozdíl 1
Tělo		32,4°C	30,6°C	29,2°C	3,2°C
Pod prsy		23,5°C	24,8°C	23,2°C	0,3°C
Záda		25,7°C	24,5°C	22,8°C	2,9°C
Spodní část zad		26,1°C	27,4°C	25,4°C	0,7°C
Teplotní rozdíl 2		7,3°C	5°C	5,4°C	

Tabulka 5 naměřené teploty vzorku 3

### Vzorek 4: tílko Amisu

oblast	Čas	0 minut	10 minut	20 minut	Teplotní rozdíl 1
Tělo		32,5°C	29,3°C	30,5°C	1,8°C
Pod prsy		26,9°C	26,6°C	25,9°C	0,3°C
Záda		26,6°C	25,8°C	24,5°C	2,1°C
Spodní část zad		26,8°C	26,8°C	25,4°C	2,3°C
Teplotní rozdíl 2		5,8°C	3°C	5,2°C	

Tabulka 6 naměřené teploty vzorku 4

### Nepřesnosti měření:

Nepřesnost snímání termokamery je výrobcem určena  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

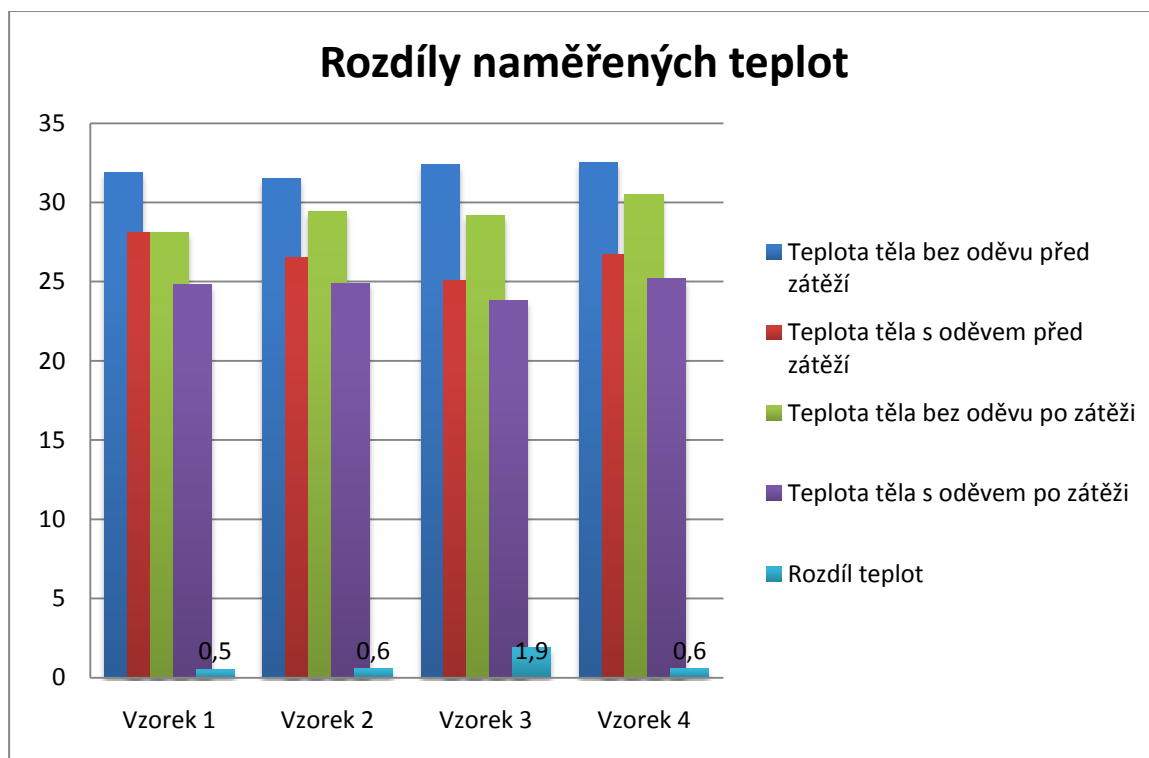
### 3.4 Vyhodnocení

Porovnáním teploty těla bez oděvu a průměrné teploty těla s oděvem bylo docíleno zjištění, které funkční tílko je nejlepší z hlediska termoregulace. Teplota těla bez oděvu by se měla co nejvíce blížit teplotě těla s oděvem, jelikož funkční tričko má bránit tělu v jeho podchlazení nebo naopak nadměrnému zahřátí.

Teplota těla bez oděvu byla porovnávána s průměrnou teplotou těla s oděvem před a po dvacetiminutové zátěži. Na grafu níže lze pozorovat rozdíly jednotlivých teplot (graf 1).

Z naměřených hodnot lze vysledovat, že teplota těla bez oděvu stejně jako teplota těla s oděvem klesala, což je zapříčiněno termoregulací lidského organismu - pocením. Probatka se v první fázi zátěže zahřívala (zhruba prvních pět minut zátěže), došlo tedy ke zvýšení teploty vlivem prvotního prokrvení kůže z důvodu zvýšené svalové práce, následně se začala intenzivně potit (po deseti minutách měla probatka viditelné krůpěje potu na obličeji a dekoltu) a teplota jejího povrchu těla začala klesat. První krůpěje potu se objevily zhruba po pěti minutách šlapání. Teploty nasnímané termokamerou byly ověřeny dotykovým teploměrem, který naměřil stejné teploty  $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Ze získaných dat vyplývá, že nejlepší funkční vlastnosti má Vzorek 1: tílko Reebok, které má nejmenší rozdíl teploty těla s oděvem a bez oděvu před a po zátěži.



Graf 1 rozdíly naměřených teplot

### 3.5 Závěr experimentální části

Vyhodnocení funkčnosti sportovních trik:

Umístění	Název	Rozdíl teplot
1.	Vzorek 1	0,5°C
2.	Vzorek 2	0,6°C
3.	Vzorek 3	1,9°C
4.	Vzorek 4	0,6°C

Tabulka 7 přehled rozdílů teplot

Rozdíl teplot byl zjištěn odečtením teploty těla bez oděvu a průměrné teploty těla s oděvem před a po zátěži.

Pomocí nasnímaných teplot bylo zjištěno, že nejlepší funkční vlastnosti má tílko od firmy Reebok, které je vyrobené ze směsi 88% polyester a 12% elastan. Jeho funkčnost se projevila správou termoregulací na povrchu lidského těla. Jako druhé bylo vyhodnoceno tílko Adidas, třetí tílko Amisu a jako poslední tílko Nike.

Funkčnost sportovních oděvů je zajištěna jejich materiálovým složením. Závisí na navlhavosti jednotlivých vláken, navlhavost má vliv na odvod vlhkosti od těla. Správná funkčnost funguje na principu minimální navlhavosti vláken. Tílko tedy odvádí vlhkost od těla, aniž by ji do sebe vsáklo a odvádí ji na svůj povrch, kde se může vlhkost snadno odpařit.

Přírodní vlákna, v našem případě bavlna, dobře saje vlhkost, kterou absorbuje do své struktury a poté pomalu schne a oděv je vlhký, jeho nošení při sportu je diskomfortní. Navlhavost bavlny je při relativní vlhkosti vzduchu 8,5%. Díky vysoké navlhavosti bavlny vlákno bobtná, vlákno polyesteru má naopak velmi nízkou sorpci. Polyester vlhkost odvádí a vlákno zůstává pořád stejně tenké, mezi vlákny se udržuje pořád stejný meziprostor, který umožňuje pokožce dýchat. Bavlna se proto používá ve směsích se syntetickými vlákny – vzorek 3. Polyesterová vlákna mají nasákavost velmi nízkou tudíž rychle schnou. Tyto vlákna odvádí vlhkost od těla na povrch textilie, což zaručuje funkčnost materiálu a komfort při nošení těchto oděvů.

Z pohledu probantky byly nejpohodlnější a nejpříjemnější vzorky 1 a 2. I když se probantka silně potila na vzorcích 1 a 2 nebyly pozorovány propocená místa, tílka byla vlhká stejnoměrně a po ukončení zátěže rychle schla. Na rozdíl od toho vzorek 3 a 4 měl na zádech, v podpaží a v oblasti pod prsy očividná propocená místa.

## 4 Závěr

Bakalářská práce se zabývá měřením teplotních polí u sportovních oděvů. Rešeršní část popisuje teorii měření teplot a teplotních polí, fyziologické vlastnosti oděvů, termoregulaci lidského těla a v poslední část popisuje používání termokamery Fluke TI25.

Na sportovní oděvy jsou v této době kladeny velké nároky z pohledu funkčnosti. Lidé se chtějí během sportu cítit příjemně a podle toho si vybírají sportovní oděv. Výrobci se po této stránce snaží lidem vyhovět, proto je na trhu široký výběr sportovních oděvů. Ze mnoha získaných výsledků vyplývá, že výrobci nabízejí kvalitní funkční materiály, které pokryjí nároky běžných uživatelů.

Experimentální část se zaměřuje na snímání teplotních polí u sportovních tílek při zátěži. Cílem této části bylo nasnímat termokamerou sportovní tílko na probantce vykonávající fyzickou zátěž a získaná data vyhodnotit. Pomocí naměřených údajů bylo zjištěno nejlepší funkční tílko, které jde zakoupit na českém trhu. Zjištěné údaje byly ověřovány dotykovým teploměrem. Vyhodnocení je podloženo vlastnostmi vláken a fyziologií lidského těla.

Při experimentu bylo zjištěno, že lidské tělo se při sportu na povrchu ochlazuje vlivem termoregulace lidského těla. Teplota pokožky je rozdílná než teplota jádra lidského těla. Funkční tílko musí zajistit, že i při ochlazování povrchu lidského těla bude zabezpečená správná teplota těla a nebude docházet k přehřívání či chlazení těla oděvem. Z tohoto faktu vyplývá, že tílko na sport by mělo být z kvalitních materiálů, které odvádí pot a mají nízkou navlhavost, jelikož v první fázi zátěže dochází k zahřátí a následnému pocení, poté teplota klesá, ale lidské tělo se stále potí. Je tedy žádoucí, aby byl oděv více méně suchý a z jeho povrchu se rychle odpařovala přebytečná vlhkost. Sportovní oděv by tudíž měl být vyrobený z polyesteru či jiného syntetického vlákna.

Testů na vyhodnocení funkčnosti a komfortu sportovních oděvů je mnoho. V této práci bylo zvoleno porovnání funkčnosti sportovních tílek pomocí termosnímků. Byly nasnímány různé oblasti oděvů, tyto snímky byly zpracovány a vyhodnoceny. Experimentální část obsahuje popis průběhu experimentu, v závěru je uvedeno podrobné vyhodnocení zpracovaných dat. Pro objektivnější vyhodnocení mohly být v experimentální části přidány váhové rozdíly tílek před a po zátěži, čímž mohla být zjištěna hodnota navlhavosti jednotlivých materiálů. Ale i přesto bylo v práci, dle mého názoru, zjištěno objektivní vyhodnocení funkčnosti danou metodou. Další zpracování této problematiky by mohlo být předmětem diplomové práce.



## 5 Použitá literatura

- [1] Hes L., Sluka P., Úvod do komfortu textilií, Liberec TUL 2005
- [2] Růžičková D., Zpracovatelské a užitné vlastnosti oděvních materiálů
- [3] Delljová R., Hygiena odívání, Praha 1984
- [4] Staněk J. Kubíčková M., Oděvní materiály, Liberec 1986
- [5] [http://cs.wikipedia.org/wiki/T%C4%9Blesn%C3%A1\\_t%C4%9Bplota](http://cs.wikipedia.org/wiki/T%C4%9Blesn%C3%A1_t%C4%9Bplota)
- [6] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pocen%C3%AD>
- [7] Fléglová Z., Fyziologické vlastnosti oděvních materiálů
- [8] <http://www.kickboxbrno.cz>
- [9] <http://www.auraclinic.cz/nadmerne-poceni-hyperhidroza.php>
- [10] <http://www.insportline.cz>
- [11] Kovačič V., Textilní zkušebnictví, Liberec 2004
- [12] Kreidl M., Měření teploty, senzory a měřicí obvody, Praha BEN 2005
- [13] Vavříčka R., Bezdotykové měření teploty, Praha 2006
- [14] [http://www.fyzika.gymsusice.cz/web/data/texty/Zareni\\_cerneho\\_tlesa.pdf](http://www.fyzika.gymsusice.cz/web/data/texty/Zareni_cerneho_tlesa.pdf)
- [15] <http://www.fyzika.jreichl.com>
- [16] <http://www.designtech.cz>
- [17] Chubáč M., Šimko M., Termovízia a jej využitie v praxi, SR 2007
- [18] [http://www.web.vscht.cz/kadleck/aktual/MT\\_INaRP/MT-INFOaPR10\\_Teplota\\_h.pdf](http://www.web.vscht.cz/kadleck/aktual/MT_INaRP/MT-INFOaPR10_Teplota_h.pdf)
- [19] <http://www.tsisystem.cz/produkty/fluke-ti25--336>
- [20] <http://www.blue-panther.cz/fluke-ti25>
- [21] Bartůňková S., Fyziologie člověka a tělesných cvičení, Praha 2007

## 6 Seznam obrázků

Obr. 1 řez pokožkou [1] .....	12
Obr. 2 teplotní zóny těla [8] .....	14
Obr. 4 přenos tepla vedením [1] .....	16
Obr. 5 přestup tepla prouděním [1] .....	16
Obr. 6 přestup tepla odpařováním [2] .....	17
Obr. 7 rozdíl parciálních tlaků [2] .....	19
Obr. 8 znázornění odsávání potu první textilní vrstvou [2] .....	20
Obr. 9 difuzní prostup vlhkosti [2] .....	20
Obr. 10 zóny pocení na lidském těle [9] .....	21
Obr. 11 znázornění termo–aktivních vlastností sportovního trika s odvodem potu [10] .....	22
Obr. 12 znázornění Planckova vyzařovacího zákona v energetickém tvaru (teplotní závislost generovaného spektra infračerveného záření na teplotě tělesa a vlnové délce) [13] .....	25
Obr. 13 realizace absolutně černého tělesa [15] .....	28
Obr. 14 tmavý otvor- zdá se že prostor pod ním je tmavý [15] .....	28
Obr. 15 pohled na bílou bednu- otvor ve víku je absolutně černé těleso [15] .....	28
Obr. 16 ukázka černého tělesa pro kalibraci pyrometrů [18] .....	28
Obr. 17 ukázka kalibrace pyrometru [18] .....	28
Obr. 18 laserové zaměřování objektu [18] .....	30
Obr. 19 zorné pole infračerveného teploměru [18] .....	30
Obr. 20 termovizní kamera Cyclops Ti 814 s ukázkami snímání [16] .....	32
Obr. 21 princip termokamery s elektromechanickým rozkladem obrazu [18] .....	33
Obr. 22 ukázka měření termovizní s maticovým detektorem [18] .....	34
Obr. 23 vliv prostupnosti atmosféry a záření okolního prostředí [12] .....	35
Obr. 24 znázornění zaměření měřené plochy objektu [13] .....	36
Obr. 25 termokamera Fluke TI 25 [19] .....	36
Obr. 26 použití termokamery ve strojírenství [19] .....	36
Obr. 27 triko Reebok [vlastní] .....	41
Obr. 28 triko Adidas [vlastní] .....	41
Obr. 29 triko Nike [vlastní] .....	41
Obr. 30 triko Amisu [vlastní] .....	41
Obr. 31 termovize Fluke [vlastní] .....	42
Obr. 32 dotykový teploměr [vlastní] .....	42
Obr. 33 průběh experimentu [vlastní] .....	42
Obr. 34 program Smart view [vlastní] .....	43

## 7 Seznam tabulek

Tabulka 1 základní veličiny bezdotykového měření [12] .....	29
Tabulka 2 materiálové složení tilek .....	40
Tabulka 3 naměřené teploty vzorku 1 .....	44
Tabulka 4 naměřené hodnoty vzorku 2 .....	44
Tabulka 5 naměřené teploty vzorku 3 .....	45
Tabulka 6 naměřené teploty vzorku 4 .....	45
Tabulka 7 přehled rozdílů teplot .....	47

## 8 Seznam vzorců

Vzorec 1 Stefan – Boltzmanův zákon [2] .....	17
Vzorec 2 vzorec pro výpočet množství tepla dýcháním .....	18
Vzorec 3 vzorec pro výpočet pohltivosti [12] .....	26
Vzorec 4 vzorec pro výpočet prostupnosti [12] .....	26
Vzorec 5 vzorec pro výpočet odraznosti [12] .....	27
Vzorec 6 vzorec pro výpočet emisivity [12] .....	27
Vzorec 7 výpočet pro celkový zářivý tok.....	34

## 9 Seznam grafů

Graf 1 rozdíly naměřených teplot.....	46
---------------------------------------	----

## 10 Seznam použitých zkratek a symbolů

$t_k$  – teplota pokožky

$t_0$  – teplota okolí

$h$  – tloušťka textilní vrstvy

$t_1$  – teplota vnější vrstvy oděvu

$\alpha_\lambda$  – spektrální pohltivost pro danou vlnovou délku

$\alpha$  – pohltivost v úhrnném spektru vlnových délek

$\varphi_a$  – pohlcený zářivý tok

$\varphi_d$  – dopadající zářivý tok

$\tau_\lambda$  – spektrální propustnost pro danou vlnovou délku

$\tau$  – propustnost v úhrnném spektru vlnových délek

$\varphi_t$  – prostupující zářivý tok

$\varphi_d$  – dopadající zářivý tok

$\rho_\lambda$  – spektrální odrazivost pro danou vlnovou délku

$\rho$  – odrazivost v úhrnném spektru vlnových délek

$\varphi_r$  – odražený zářivý tok

$\varphi_d$  – dopadající zářivý tok

$M_0$  – intenzita vyzařování černého tělesa

$M_{0\lambda}$  – spektrální hustota intenzity vyzařování černého tělesa

$\varepsilon(\lambda, T)$  – emisivita

$v$  – rychlost

$h_m$  – tloušťka mikroklimatu

$Q$  – teplo

$t$  – čas

$\alpha_s$  – koeficient sálání

$W_{ex}$  - množství vodních par vdechovaných

$W_a$  - množství vodních par vydechovaných

$T$  - čas

$\Delta i$  - měrné výparné skupenské teplo

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
**PŘÍLOHA**

**Liberec 2010**

**Jitka Juříčková**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**

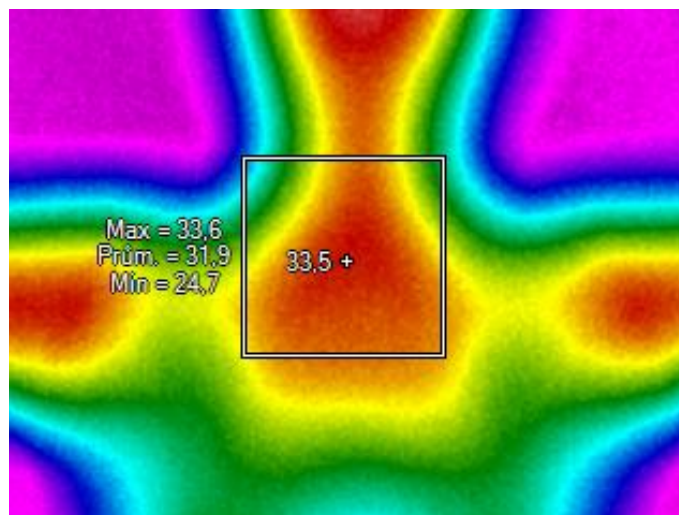
**MĚŘENÍ TEPLOTNÍCH POLÍ**  
**U SPORTOVNÍCH ODĚVŮ**

***MEASUREMENT***  
***OF TEMPERATURE FIELDS***  
***FOR SPORTS CLOTHING***

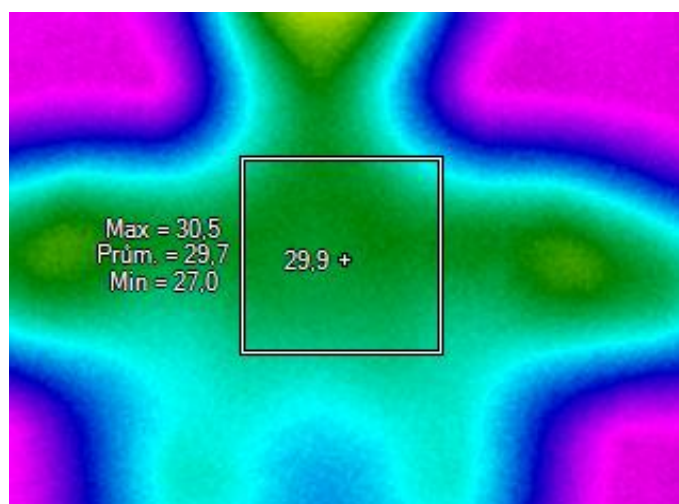
## Vzorek 1: tílko Reebok

### Snímky těla bez oděvu - hrudník

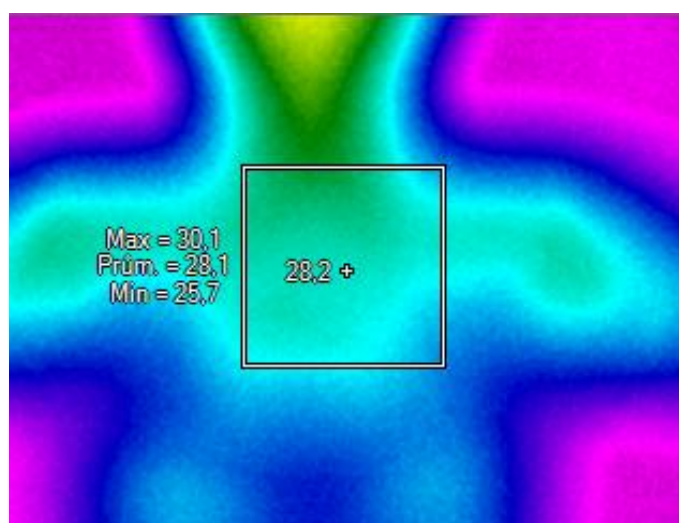
Před zátěží



10 minut

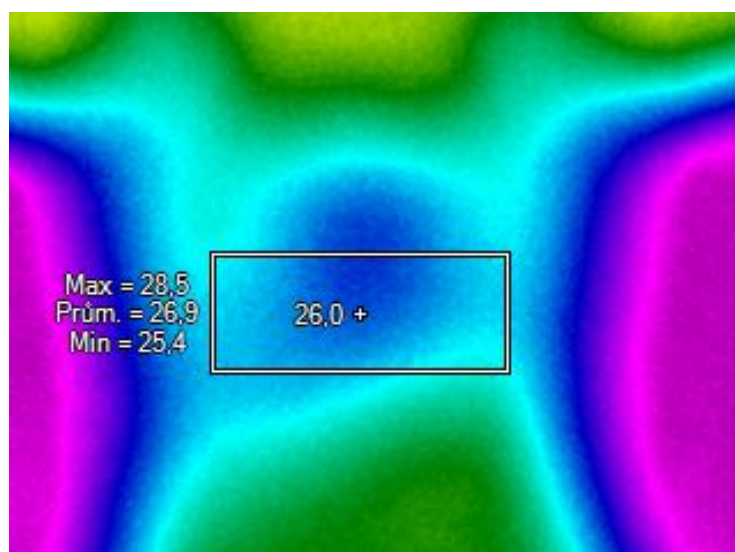


20 minu

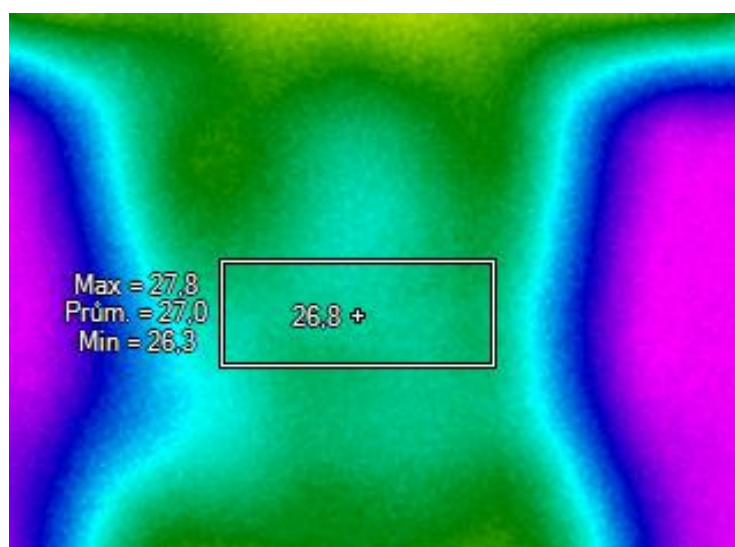


## Snímky podprsí oblasti

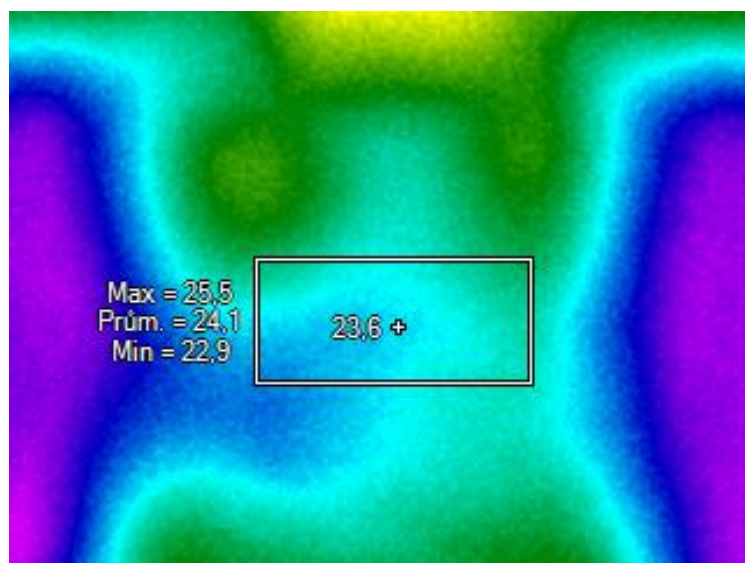
Před zátěží



10 minut



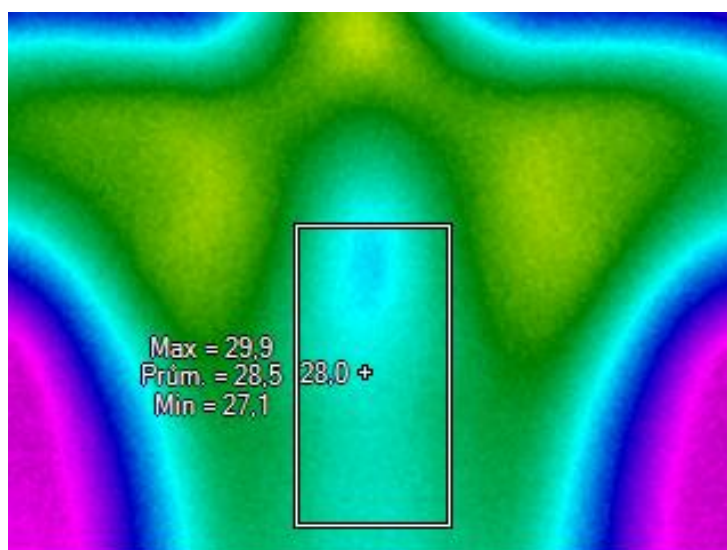
20 minut



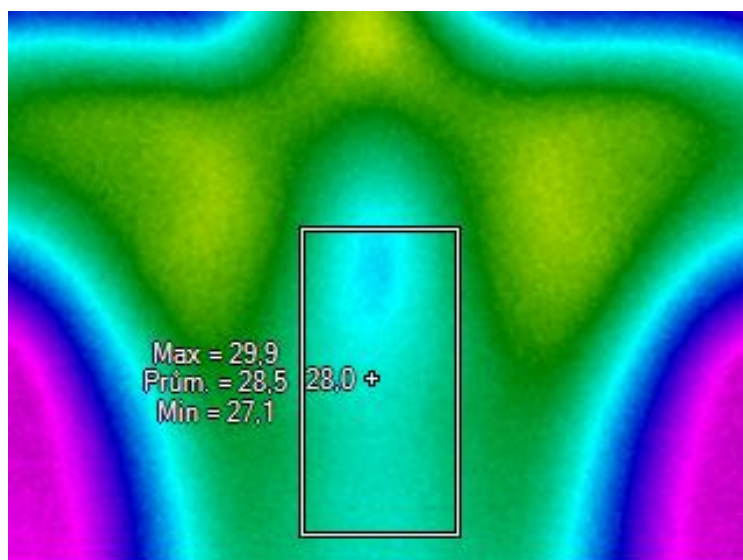


## Snímky zad – oblast kolem páteře

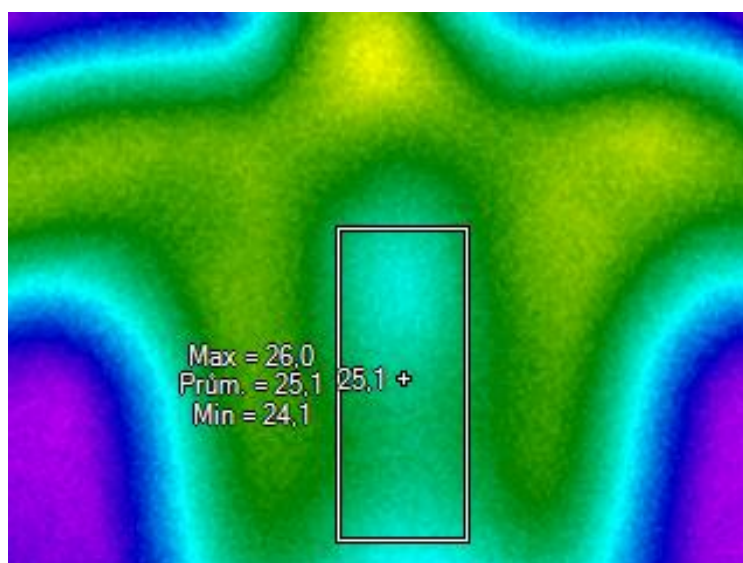
Před zátěží



10 minut

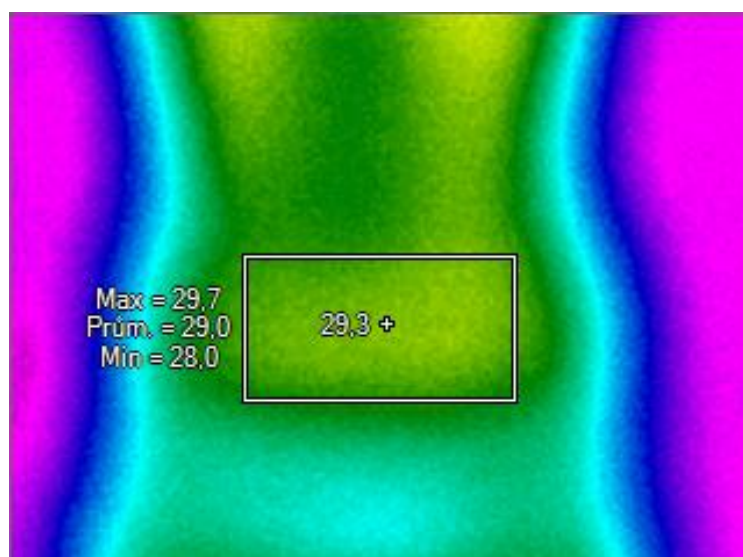


20 minut

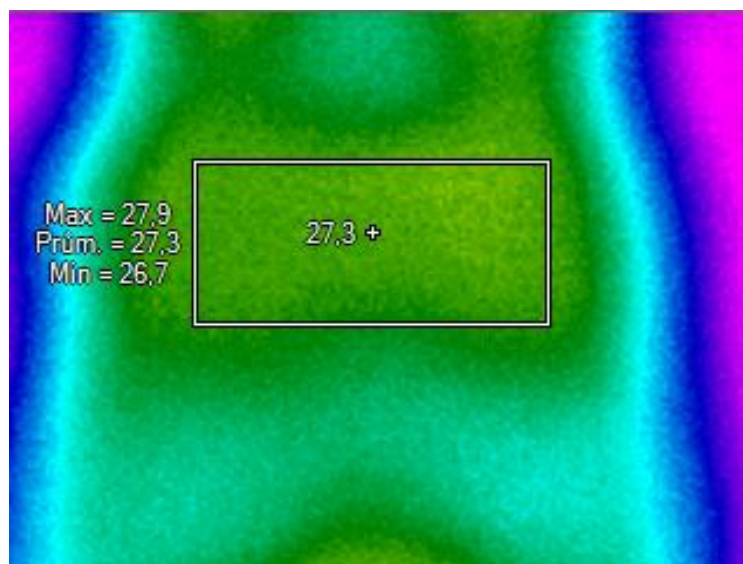


## Snímky zad – spodní část

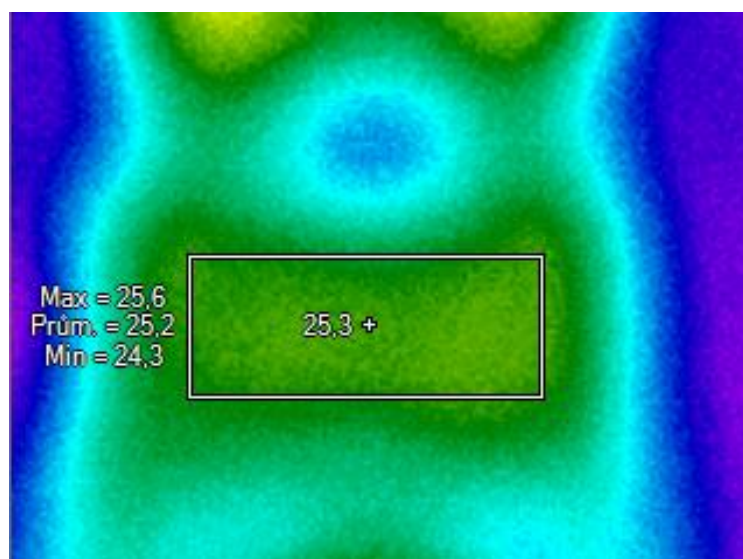
Před zátěží



10 minut



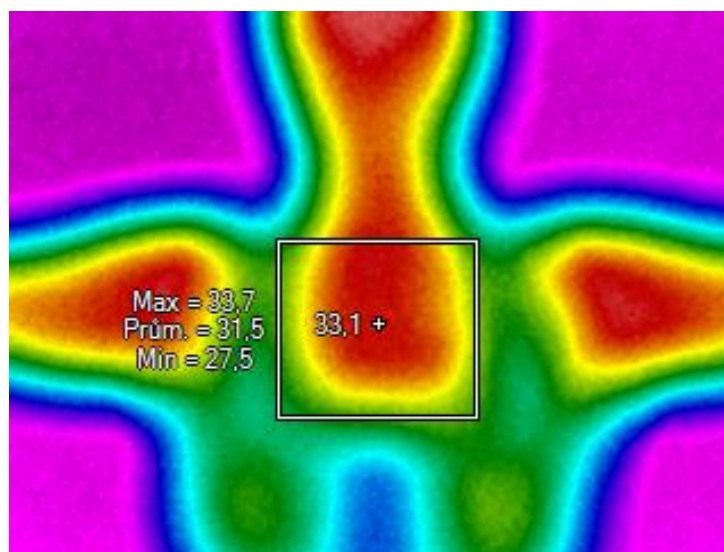
20 minut



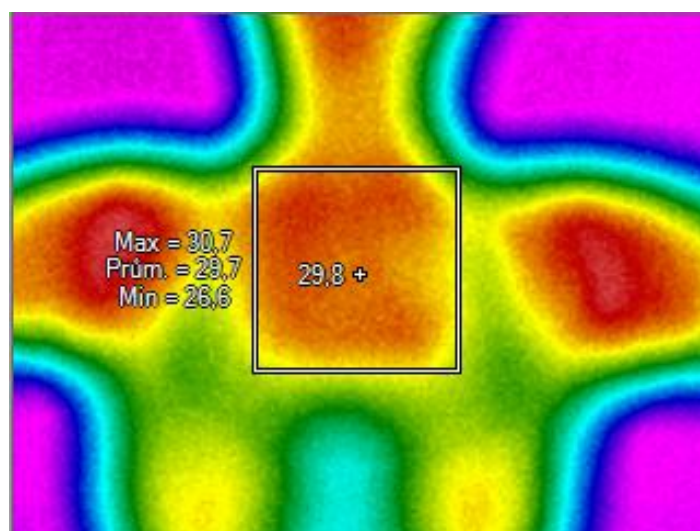
## Vzorek 2: tílko Adidas

### Snímky těla bez oděvu – hrudník

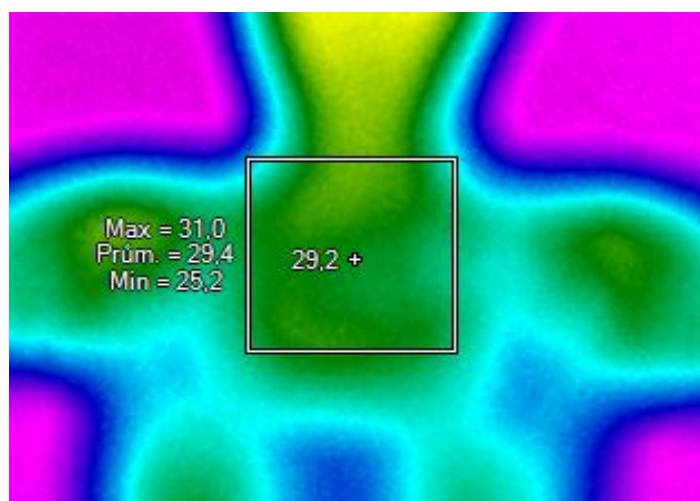
Před zátěží



10 minut



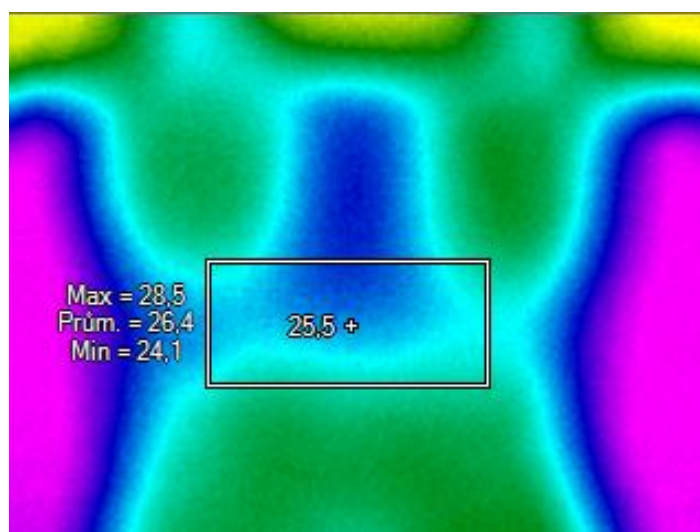
20 minut



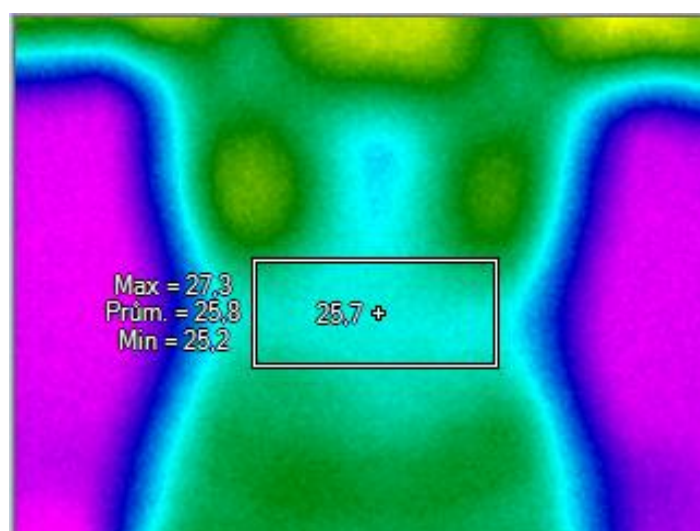


## Snímky podprsí oblasti

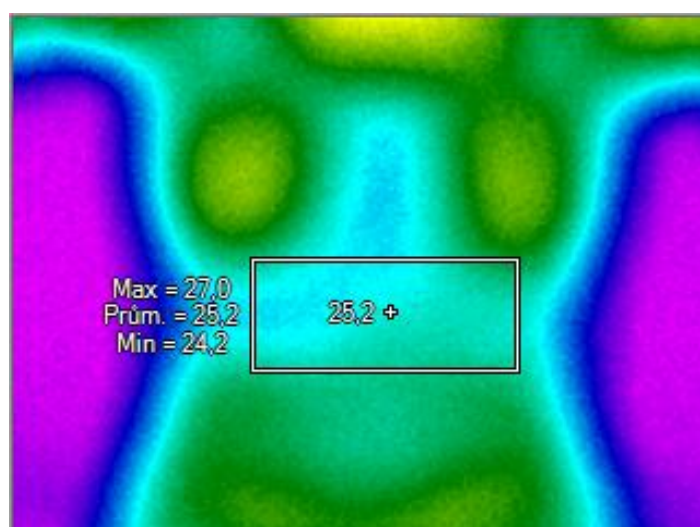
Před zátěží



10 minutách

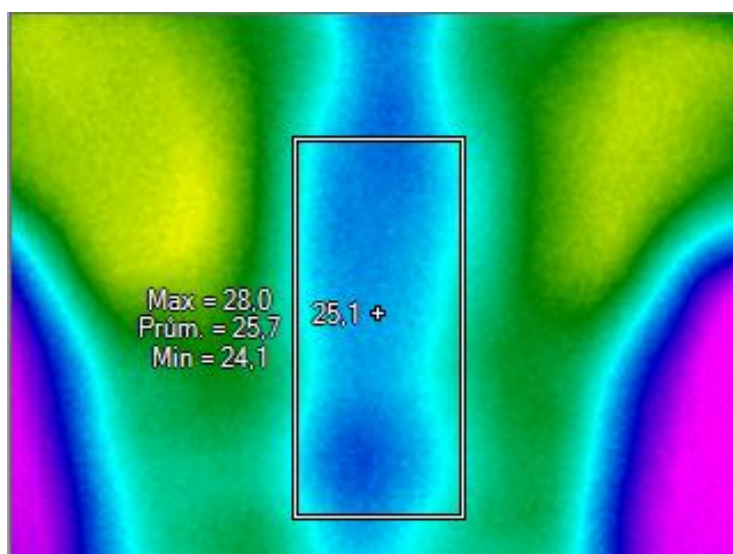


20 minut

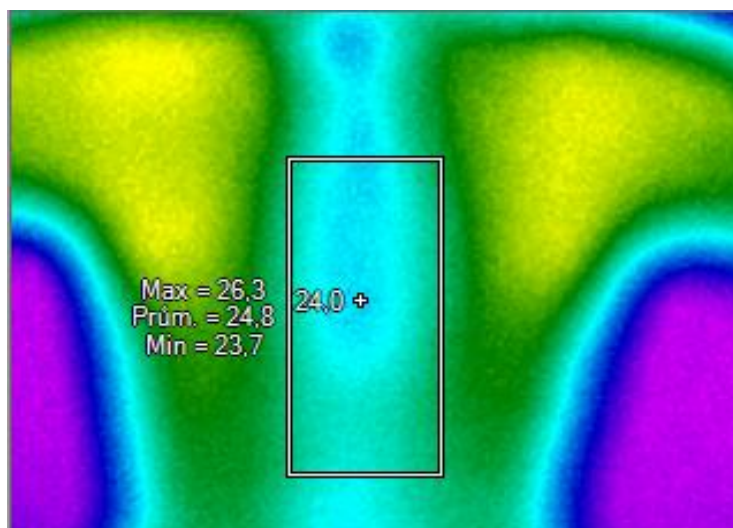


## Snímky zad – oblast kolem páteře

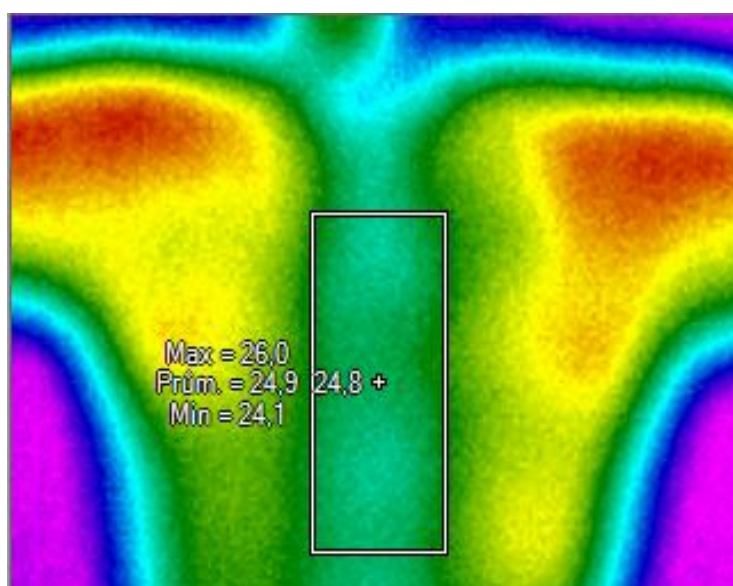
Před zátěží



10 minut

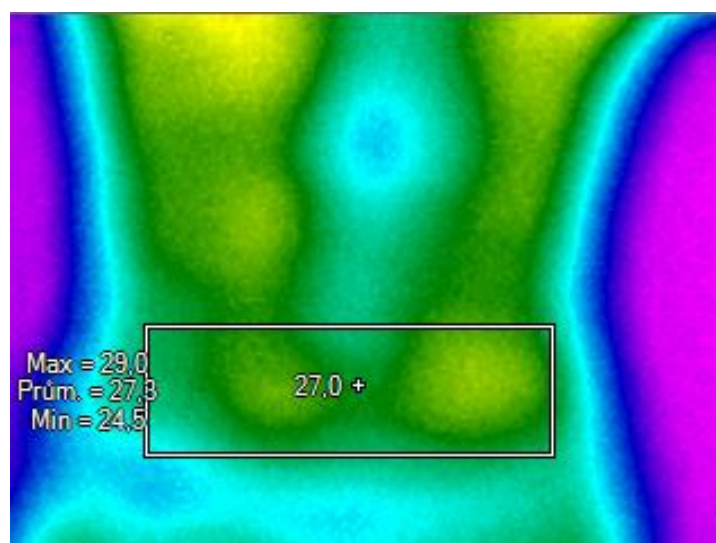


20 minut

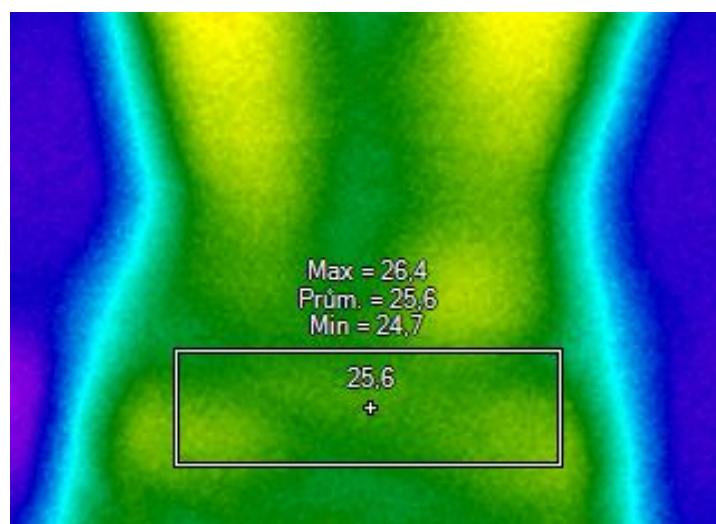


## Snímky zad – spodní část

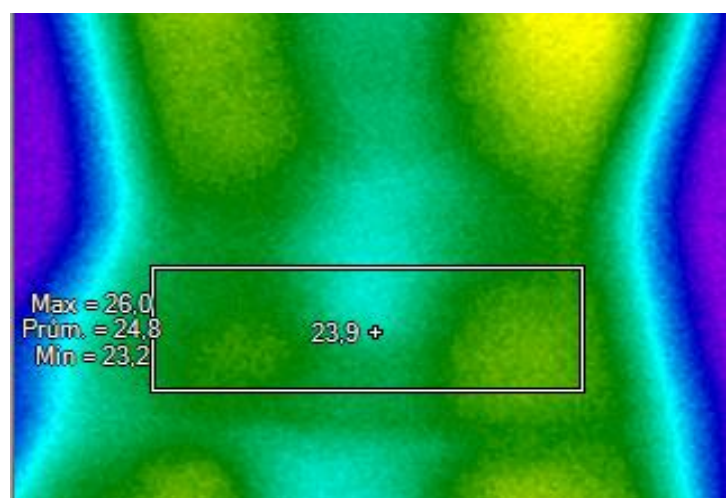
Před zátěží



10 minut



20 minut

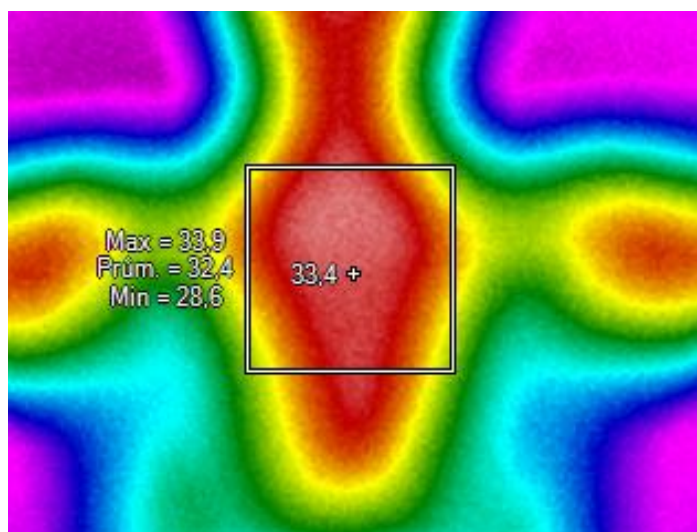




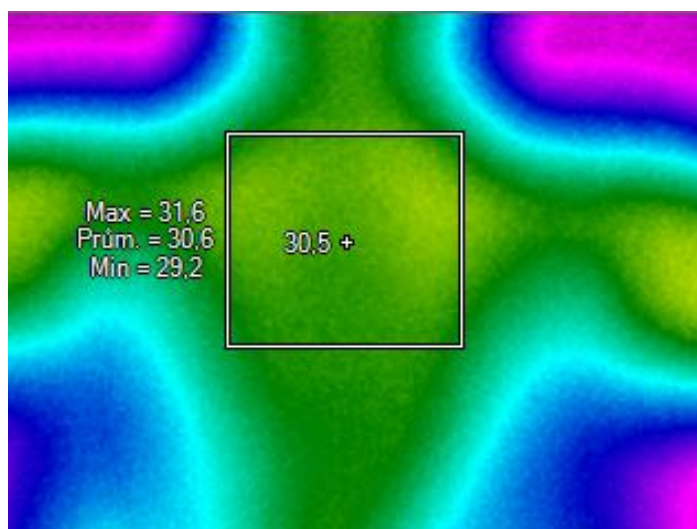
### Vzorek 3: tílko Nike

#### Snímky těla bez oděvu – hrudník

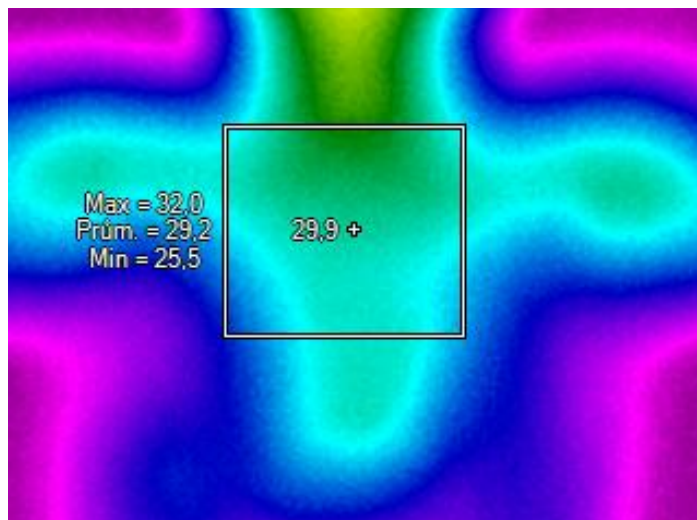
Před zátěží



10 minut

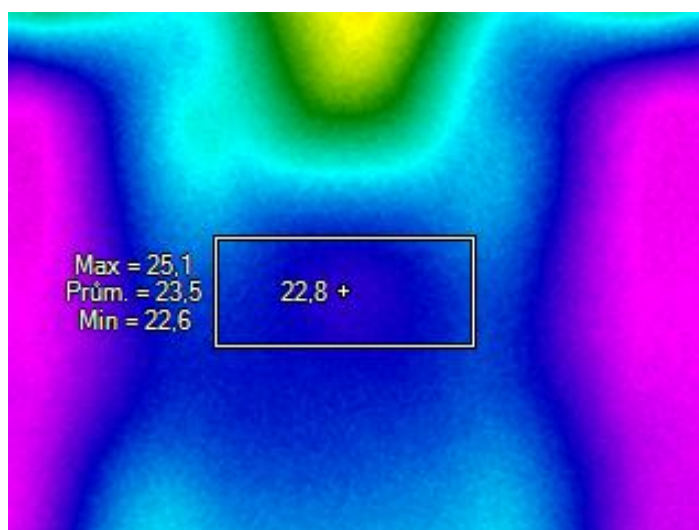


20 minut

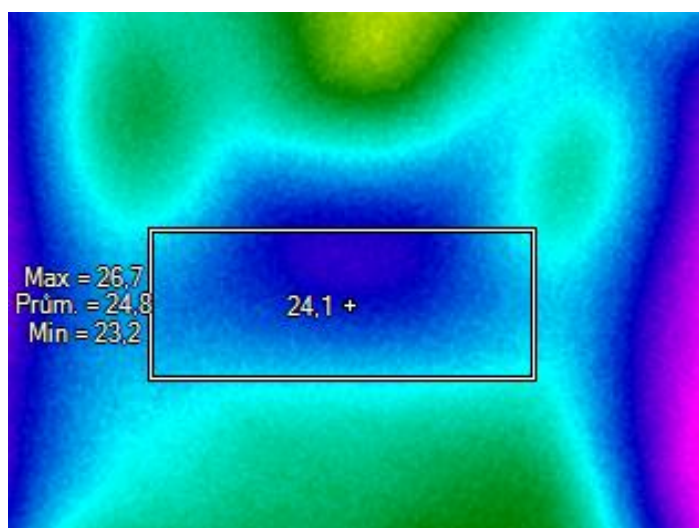


## Snímky podprsí oblasti

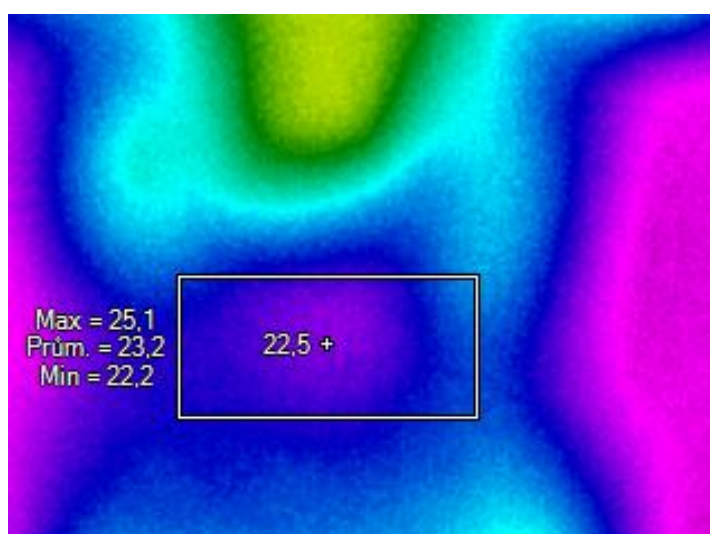
Před zátěží



10 minut



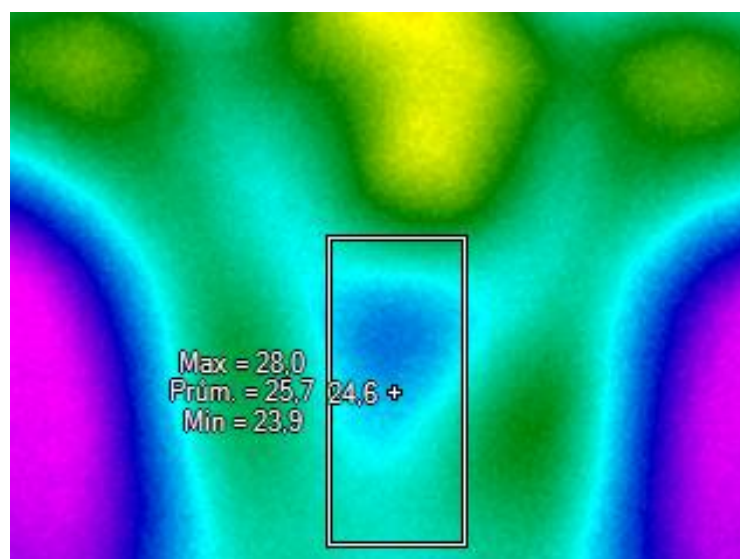
20 minut



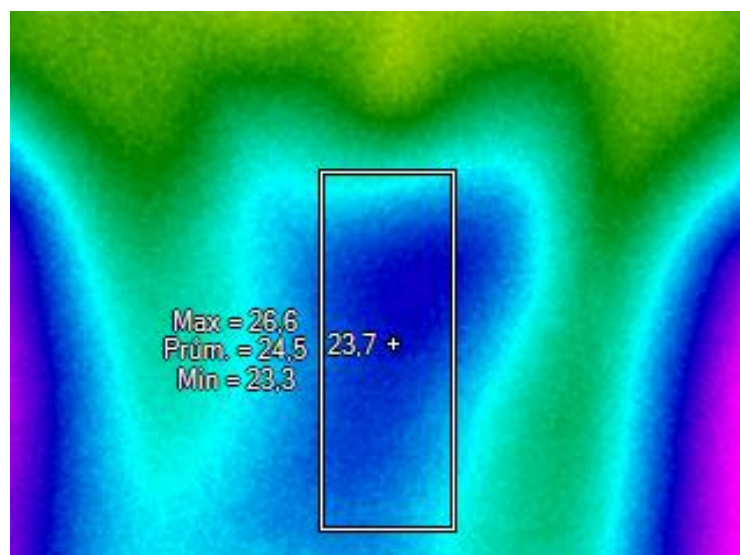


## Snímky zad – oblast kolem páteře

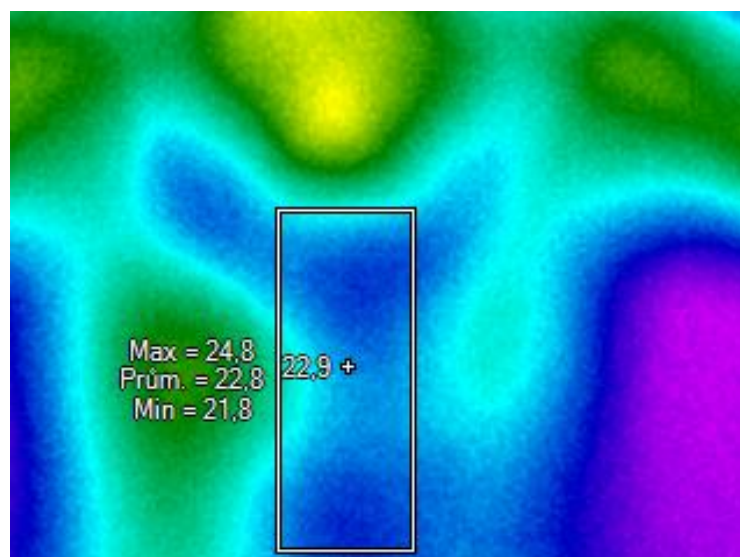
Před zátěží



10 minut

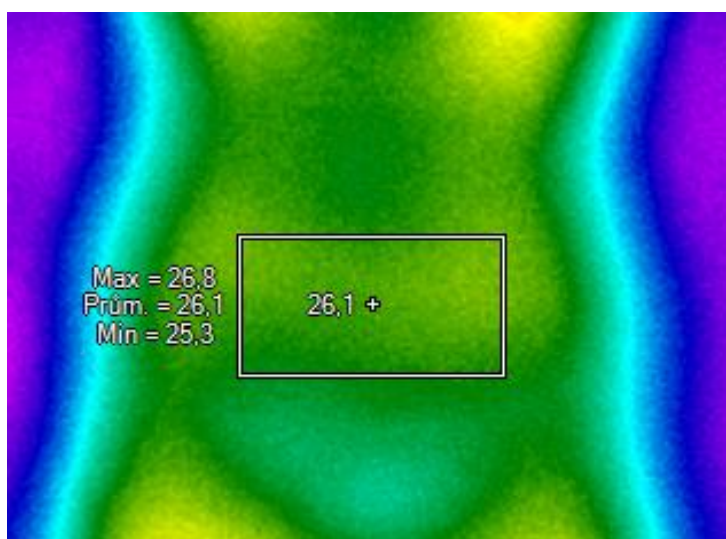


20 minut



## Snímky zad – spodní část

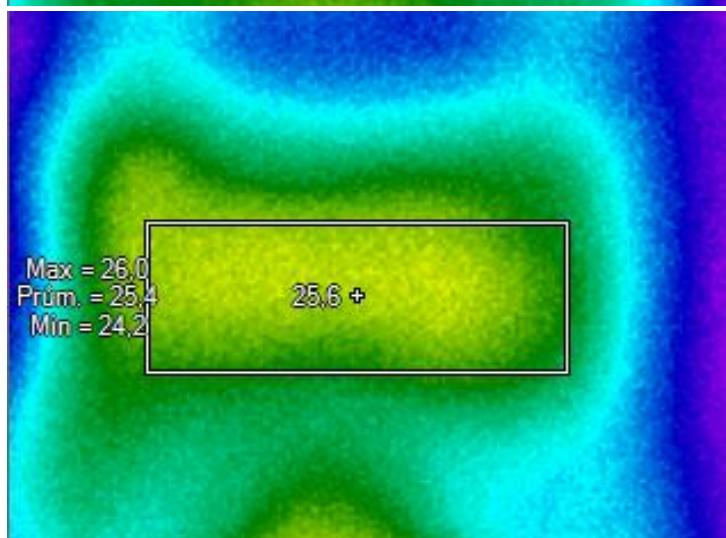
Před zátěží



10 minut



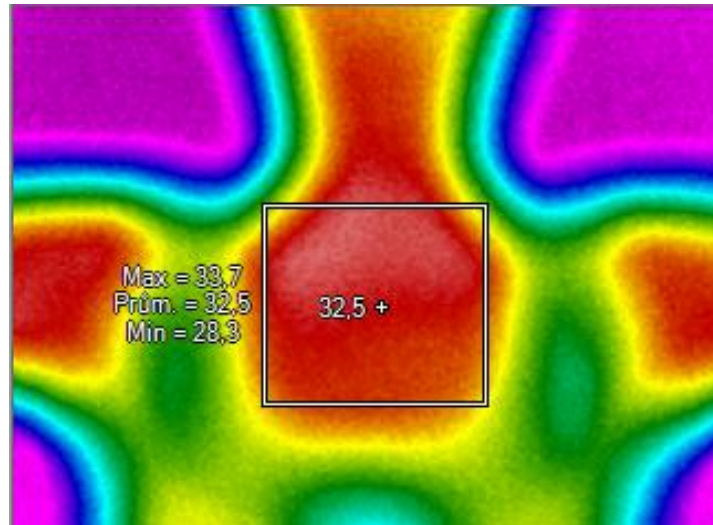
20 minut



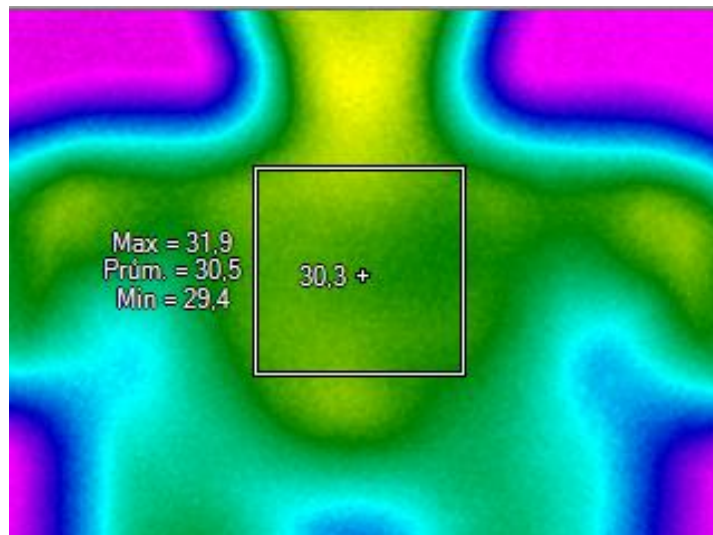
## Vzorek 2: tílko Amisu

### Snímky těla bez oděvu – hrudník

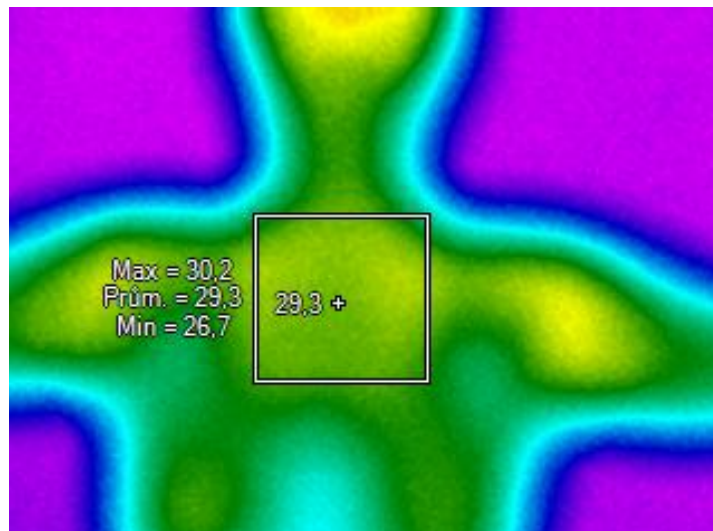
Před zátěží



10 minut



20 minut



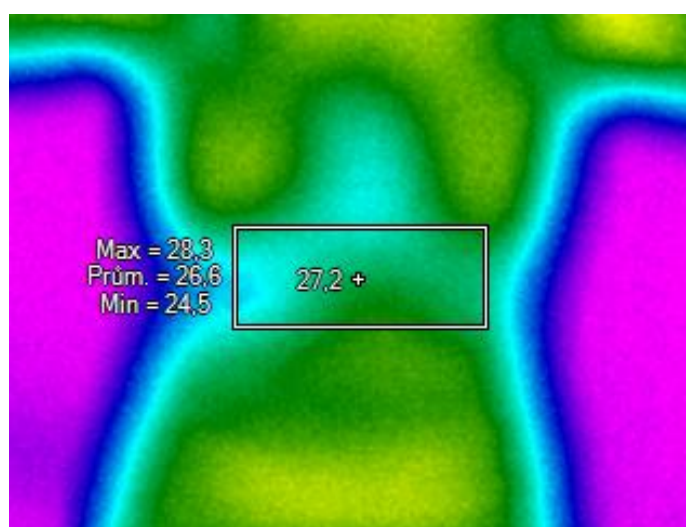


## Snímky podprsí oblasti

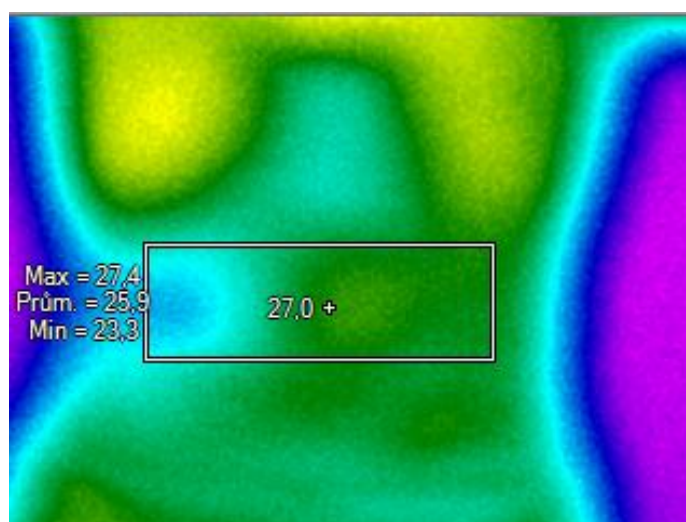
Před zátěží



10 minut

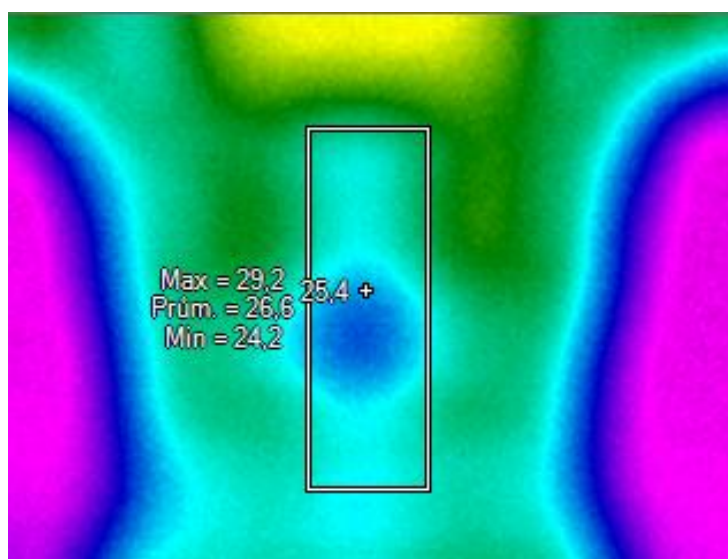


20 minut

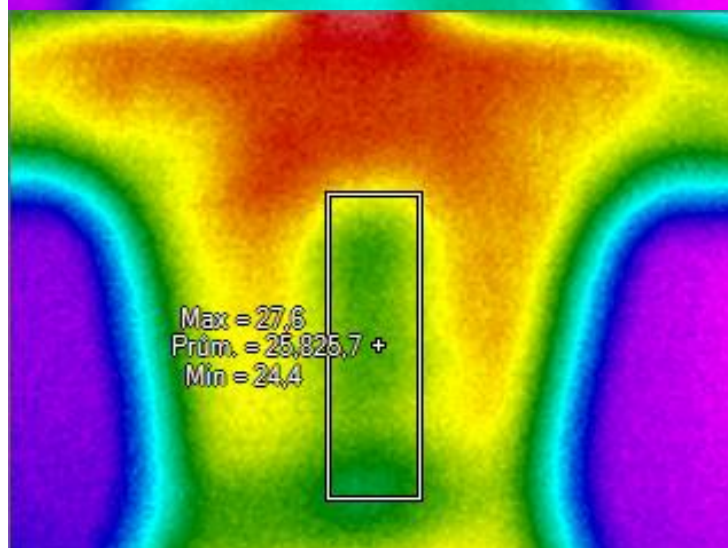


## Snímky zad – oblast kolem páteře

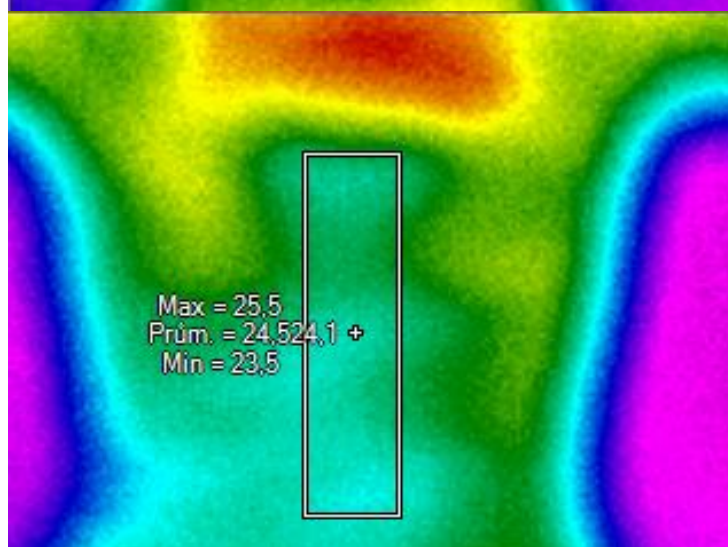
Před zátěží



10 minut

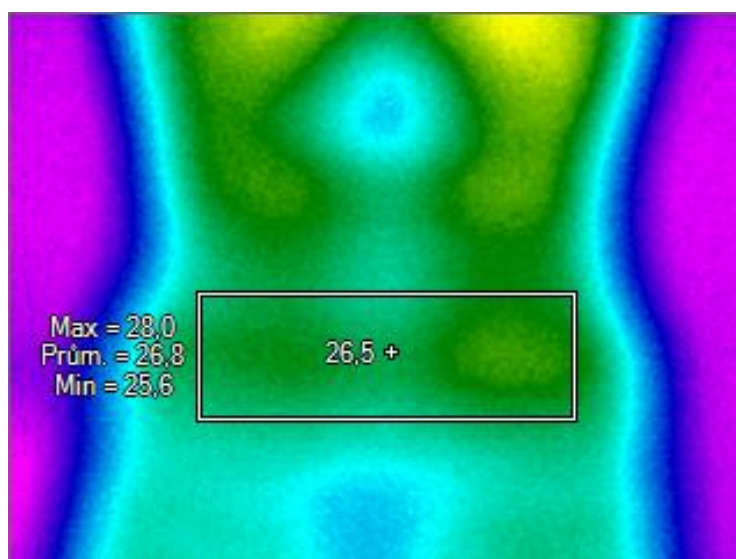


20 minut

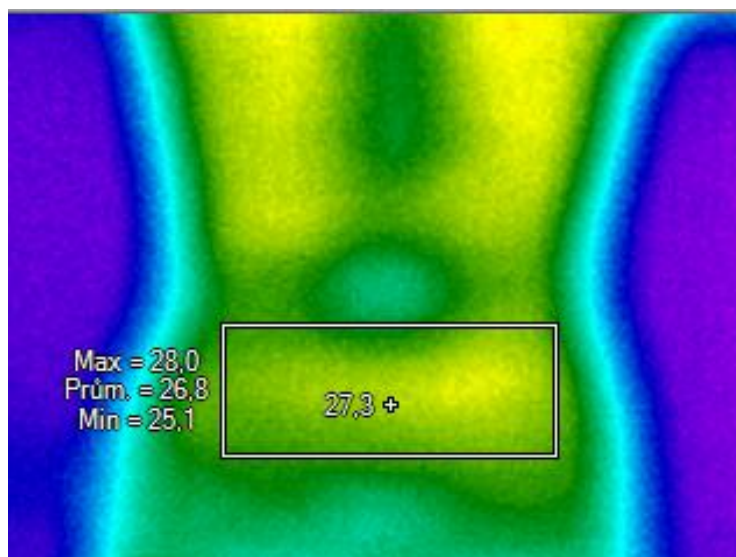


## Snímky zad – spodní část

Před zátěží



10 minut



20 minut

